

LA Foudre AU TRAVERS DES SIECLES

*Daniel LACROIX
Claude CROQUETTE*

INTRODUCTION

La foudre est un phénomène qui a depuis toujours beaucoup frappé les imaginations. Dans le passé, de nombreux hommes de sciences ont voulu lui trouver une explication en se référant à l'état des connaissances du moment

On dispose de multiples textes scientifiques qui montrent bien comment les interprétations de ce phénomène ont varié au cours des siècles, reflétant du même coup l'évolution continue de la science.

On a pu trouver, parmi ces documents, quelques textes, dont certains sont extraits d'anciens manuels scolaires, qui sont parfaitement lisibles par de jeunes enfants et qui peuvent être utilisés en classe.

En effet, au travers de l'exemple de la foudre, dont les manifestations sont connues de tous (qui n'a pas, dans sa petite enfance, tremblé un jour d'orage ?) nous pensons qu'il est possible de montrer aux enfants que la connaissance scientifique est sans cesse en évolution et que les remises en cause des théories successives sont à la source de cette évolution.

Nous vous proposons dans cet article, les textes que nous avons choisis, avec quelques commentaires afin de vous permettre un travail en classe.

Objectifs et finalités

- a) Analyser un phénomène connu de tous les enfants.
- b) Mettre en évidence l'ancienneté de la réflexion scientifique et son évolution dans le temps.
- c) Mettre en place quelques dates repères et évoquer quelques scientifiques célèbres.
- d) Faire exprimer par les enfants leurs modèles et les faire évoluer en les confrontant les uns aux autres et à une pensée plus structurée.
- e) Faire manipuler des chaînes causales.

Dans une deuxième partie, nous vous donnons un exemple d'utilisation dans une classe de CM1.

I - DOCUMENTS

A - LE TEXTE SCIENTIFIQUE "MIROIR DE LA SCIENCE EN MARCHÉ"

"Le texte scientifique est à l'histoire des sciences ce que le site archéologique est à l'archéologie"

Il n'est pas possible d'étudier l'histoire des sciences sans lire, comprendre et comparer les textes scientifiques. Il semble possible d'étudier l'histoire des sciences de deux manières, soit en considérant un domaine scientifique à une époque donnée, soit en poursuivant au fil du temps une idée précise et non plus un domaine qui deviendrait trop vaste". C'est ce dernier parti que nous avons choisi.

La science est une œuvre collective qui s'étend maintenant sur plusieurs siècles. Elle est accumulation de connaissances, d'expériences. Si l'on ne veut pas à chaque instant repartir de zéro, il faut assurer la diffusion, la transcription des connaissances. D'où l'importance du document scientifique dans la science en train de se construire.

Pour ne prendre que les périodes récentes, cette diffusion s'est faite différemment au cours du temps.

Depuis 1667, date de la parution des premiers journaux scientifiques, les échanges entre les scientifiques sont nombreux, presque immédiats, ce qui stimule le développement des sciences. En feuilletant ces journaux on peut facilement s'en persuader et trouver de nombreux textes traitant des sujets les plus divers. Leur nombre augmente aussi avec le temps. Ces journaux sont pour nous le reflet de la science en marche, dans ce miroir nous pouvons suivre la marche de la pensée scientifique, ses évolutions au cours du temps.

Il n'en était pas ainsi à l'époque précédente, les auteurs écrivaient de longs traités sur un même sujet ce qui les obligeait à différer la publication de leur connaissance jusqu'à ce qu'ils aient suffisamment approfondi le sujet.

C'est par contre une époque où les contacts épistolaires existaient. Même si cette correspondance pouvait le cas échéant être diffusée auprès d'un groupe plus large que le destinataire. La diffusion de connaissances était moins rapide et le développement de la science plus lent. Comment éviter en effet que plusieurs scientifiques travaillent en même temps et pendant une longue période exactement sur le même sujet ?

Au début du 18^{ème} siècle les journaux scientifiques, lettres et traités étaient destinés aux scientifiques, mais étaient compréhensibles par un public beaucoup plus vaste. A la fin de ce même siècle, déjà dans certains domaines l'essor des sciences, la spécialisation des scientifiques et de leur langage, l'utilisation du langage mathématique, la diversité des phénomènes découverts ou évoqués rendent ces traités difficilement accessibles aux non spécialistes. Et pourtant les applications industrielles nécessitent leur diffusion auprès d'un public très vaste. Apparaissent alors deux types d'écrits dont le nombre va croître très rapidement : les ouvrages de vulgarisation, des ouvrages didactiques (manuels scolaires).

Ces ouvrages ne s'adressent pas aux ouvriers de la science, à ceux qui sont engagés dans l'œuvre de construction, ils sont destinés aux badauds, aux spectateurs mais aussi aux futurs apprentis; ils sont destinés à faire naître de nouvelles vocations, ils doivent donner l'envie de

participer à la construction de l'édifice, ils donnent une idée des méthodes d'investigations de la science. Ils relatent les problèmes rencontrés, les succès récents et éventuellement les échecs. Surtout si ces ouvrages sont réalisés par les scientifiques eux-mêmes, ils reflètent les mille facettes de la science en marche à une époque donnée.

Seuls certains de ces textes sont encore accessibles actuellement par les enfants. Pour eux ces textes deviendront une chronique de cette marche vers la lumière.

La lecture de textes d'époques différents (il faut disposer de nombreux textes) permet ainsi de suivre "la marche de la pensée scientifique et de ses progrès au cours du temps". Elle permet aussi de montrer comment les découvertes expérimentales et les vues théoriques se sont succédées et mutuellement engendrées.

Elle permet de montrer par quels chemins souvent tortueux, l'esprit des hommes doit avancer pour parvenir à la vérité.

En ressuscitant des états de connaissances et des conceptions théoriques dépassées, la lecture de ces textes nous fait connaître comment s'est formée la science d'aujourd'hui et sur quel substrat elle repose.

B - INTERPRETATIONS DE LA FOUDRE ET DU TONNERRE DE 1750 à 1988

On peut situer les observations et leurs analyses dans le contexte scientifique des années 1750-1850. Au milieu du 18^{ème} siècle, Benjamin Franklin mettait en évidence la présence de charges électriques dans les nuages avant l'orage

Le dispositif utilisé était ingénieux : un cerf-volant retenu par un fil conducteur. L'expérimentateur pouvait observer quelques manifestations alors bien connues liées à la présence de charges électriques : aigrettes lumineuses, attractions ou répulsions d'objets légers, picotements.

Devant l'intensité de leurs manifestations, B; Franklin crut bon de ne pas poursuivre ses investigations. D'autres savants contemporains ne furent pas aussi prudents... ils ont payé de leur vie leur curiosité. L'électrocution, à St-Petersbourg, de Richmann a mis fin à ses expériences (cette électrocution a eu à l'époque dans le monde des savants un impact aussi puissant que celle de Claude François dans le grand public en 1789). Pour Franklin et certains de ses contemporains, il n'y avait plus de doute, la foudre était un phénomène d'origine électrique.

Au 18^{ème} siècle quel savant n'avait pas étudié les phénomènes électrostatiques ? ... tout le monde savait manipuler des machines électrostatiques.

Or, les énergies produites artificiellement étaient faibles, très faibles, trop faibles comparées à l'énergie libérée par un seul coup de foudre, énergie capable de tuer un ou plusieurs bœufs, d'écorcer un arbre, de le fendre sur toute sa longueur, de faire éclater des pierres ou de fondre des tiges métalliques.

L'écart était tellement énorme entre les manifestations naturelles et artificielles que les phénomènes eux-mêmes pouvaient apparaître de nature différente. Il fallait être B. Franklin, esprit novateur isolé sur le continent américain, éloigné des écoles de pensées européennes pour considérer la foudre comme la manifestation d'un phénomène électrique. (Il n'écartait pas l'idée que ces courants très intenses pouvaient produire d'autres phénomènes

identifiés, mais non moins spectaculaires baptisés ultérieurement phénomènes électromagnétiques). En effet, il accordait foi aux récits des capitaines dont les vaisseaux avaient été foudroyés, leurs boussoles avaient éventuellement perdu le nord, certaines s'étaient désaimantées, d'autres s'étaient aimantées en sens inverse.

Si toutefois, après B. Franklin, il était difficile de nier toute composante électrique dans ce phénomène, certains pensaient que l'électricité n'était que l'étincelle qui mettait le feu aux poudres; une petite allumette peut provoquer un gros incendie, ce ne sont pas ses dimensions qui déterminent l'ampleur des dégâts. Si l'étincelle est ici bien identifiée, le combustible l'est moins. Quelles pouvaient être ces substances inflammables ? Leur existence avait été évoquée par un savant aussi renommé que Descartes (1630) qui croyait que le tonnerre était produit lorsque les nuages les plus élevés tombaient subitement sur d'autres plus bas. L'air contenu entre eux était comprimé par cette chute au point de causer ce grand bruit, d'enflammer ces vapeurs et donc de produire les éclairs et la foudre.

Après 1750, s'inspirant des idées de Descartes, certains voyaient ces "vapeurs inflammables" embrasées par une étincelle électrique. Après le tonnerre la pluie peut tomber en abondance. Est-ce que la foudre ne serait pas la manifestation la plus spectaculaire de la formation d'une partie de cette eau ? C'est ce que pensaient certains hommes de science au début du 19^{ème} siècle. Certains travaux de chimistes à la fin du 19^{ème} pouvaient renforcer cette idée. L'hydrogène et l'oxygène ont beaucoup d'affinités, leur combinaison est violente. Si l'oxygène est présent en grande quantité dans l'air... il n'y a pas de traces de vapeur inflammables dans les éprouvettes de Lavoisier.

Le débat va être définitivement tranché au début du 19^{ème} siècle. On est alors capable de produire des énergies électriques comparables à celle mise en œuvre lors d'un coup de foudre par exemple : fondre une barre de fer.

Ainsi, un siècle après Franklin, devait-on, pour interpréter le phénomène, évoquer le passage d'un courant électrique intense entre les nuages et la terre, et ce, d'autant plus aisément que les phénomènes électromagnétiques observés peuvent être aussi interprétés par le passage de courant de forte intensité. Interprétation communément admise de nos jours, tout au moins par les adultes.

Toutefois, un problème reste en suspens : comment s'accumulent les charges présentes dans le nuage, comment apparaissent-elles ? Ces phénomènes ne sont pas encore élucidés.

En 1850, le prestige de B. Franklin était tel, que, malgré leurs faiblesses, ses idées sur l'origine des charges présentes dans les nuages d'orage sont reprises par nombre de vulgarisateurs. Pour B. Franklin, l'eau de mer est conductrice, des charges électriques s'y déplacent, les molécules d'eau qui en s'évaporant quittent la mer peuvent emporter ces charges; lorsque l'eau se condense, ces charges se trouvent elles aussi confinées dans le nuage. Cette explication serait pour nous plus plausible si l'eau de pluie était salée (elle peut être acide, mais c'est un autre problème).

Les textes de vulgarisation proposés à la réflexion des élèves reflètent ces hésitations, il en résulte une grande diversité dans les interprétations proposées. Les textes cités en référence en sont une illustration, et sont donc de ce point de vue, représentatifs, comme peuvent l'être deux objets tirés au hasard d'une collection hétérogène. Par contre, au delà de 1850 apparaît une grande stabilité d'interprétation. L'interprétation de l'éclair proposée dans le texte 2 est tirée d'un manuel utilisé vers 1820 pour l'apprentissage de la lecture. Il s'adresse à de jeunes

enfants, il ne fait pas référence à l'énergie électrique. Ce texte pourrait être antérieur à l'analyse faite par Franklin, en fait le manuel a été publié en 1815, c'est peut-être pour ne pas introduire de notion nouvelle que l'auteur n'y fait pas référence, plus que par ignorance.

C - QUELQUES TEXTES SIGNIFICATIFS

Le tonnerre

En hiver, lorsque la bise souffle froide et sèche, prenez sur vos genoux le chat qui sommeille à côté du poêle bien chaud ou devant l'âtre qui flambe; mettez-vous dans l'obscurité; puis passez, repassez doucement la main sur la fourrure de la bête.

Vous verrez le poil du chat ruisseler de perles lumineuses; de petits éclairs d'une lueur blanche jailliront, pétillant et disparaissant à mesure que la main frictionne. On croirait voir les étincelles d'un feu d'artifice allumé dans la fourrure.

N'allons pas plus loin sur ce sujet difficile; la physique plus tard vous expliquera cela.

Or, de même que, dans l'éclairage électrique, l'électricité jaillit continuellement sous le verre du candélabre; de même qu'entre les mains et la fourrure du chat éclatent de petits jets lumineux; de même aussi, pendant un orage, l'électricité s'élance par moments d'un nuage à l'autre ou d'un nuage vers la terre.

Ce jet électrique est une immense étincelle, un long ruban de feu d'où résultent l'éclair et le tonnerre; son nom est la **foudre**. Pour voir ce trait de feu, pour voir la foudre, il faut vaincre une frayeur bien excusable à votre âge, et regarder avec attention les nuées, centre de l'orage. D'un moment à l'autre, on voit alors serpenter un trait éblouissant, simple ou ramifié, et d'une forme sineuse très irrégulière. La soudaine lueur jetée par le trait de la foudre, c'est l'**éclair**. Le bruit retentissant produit par l'explosion de l'énorme étincelle électrique, c'est le **tonnerre**. Deux chocs nous avertissent donc de l'explosion de la foudre : la lumière et le bruit, l'éclair et le tonnerre.

Pareillement, quand on décharge une arme à feu, il y a la lueur produite par l'inflammation de la poudre et le bruit résultant de cette inflammation. Sur les lieux où l'explosion se fait, lumière et bruit éclatent au même instant. Mais pour des personnes éloignées, la lumière, incomparablement plus rapide que sa marche, arrive avant le son, plus lent dans sa propagation. Si l'on prête attention à la décharge d'un fusil faite à une distance un peu considérable, on aperçoit d'abord l'éclair et la fumée de l'explosion, et l'on n'entend le bruit que quelque temps après, d'autant plus tard que le lieu de l'explosion est plus éloigné. De même si on regarde à distance un bûcheron qui fend du bois, un maçon qui taille une pierre, on voit la hache s'abattre sur le bois, on voit le maillet taper la pierre, et quelque temps après on entend le choc.

Cela provient de ce que la lumière parcourt un immense trajet dans un temps excessivement court, tandis que le son parcourt seulement 340 mètres par seconde. C'est une belle rapidité, comparable à celle du boulet au sortir de la gueule du canon; mais, après tout, elle n'est rien par rapport à l'incomparable vitesse de la lumière, qui dans la durée d'un clin d'œil ferait plusieurs fois le tour de la terre.

Nous avons là un moyen de savoir à quelle distance on se trouve d'un nuage orageux : il suffit de compter le nombre de secondes qui s'écoulent entre l'instant de l'apparition de l'éclair et l'instant où le tonnerre commence à se faire entendre.

Une seconde, la soixantième partie d'une minute, est à peu près la durée d'un battement du pouls. Il suffit d'ailleurs de compter un, deux, trois, quatre, etc ..., sans se presser, mais sans y mettre non plus trop de lenteur, pour avoir environ le nombre de secondes.

Surveillez l'instant où un éclair luira dans un nuage, et comptez lentement jusqu'au moment où vous entendrez le tonnerre. Si l'explosion avait lieu tout près de nous, le tonnerre s'entendrait à l'instant même de l'éclair; mais si la foudre éclate à distance, le bruit du tonnerre nous arrivera après l'éclair. L'œil au guet, l'oreille attentive, vous êtes tout en observation. Chut ! L'éclair ! Un ..., deux ..., trois ..., quatre..., cinq ..., six ..., à douze, le tonnerre gronde. Il a fallu douze secondes au bruit de l'explosion électrique pour nous arriver. A quelle distance sommes-nous du nuage d'où la foudre a jailli ? Nous en sommes à 12 fois 340 mètres; nous en sommes à 4 080 mètres, une lieue et plus. N'est-ce pas là calcul facile et digne d'intérêt ? On compte un, deux, trois, quatre, etc ..., et sans bouger de place on sait à quelle distance la foudre vient d'éclater.

Plus il s'écoule de temps entre l'apparition de l'éclair et l'arrivée du bruit, plus loin on est du nuage orageux. Quand le bruit arrive en même temps que l'éclair, l'explosion a eu lieu tout près.

Je vous ai prévenus qu'on ne risque plus rien quand on a vu l'éclair. Vous en voyez maintenant la raison. La foudre est aussi rapide que la lumière. L'explosion électrique est donc terminée une fois que l'éclair a lui, et tout danger est passé, car le bruit du tonnerre, si violent qu'il soit, ne peut faire aucun mal. C'est le trait de la foudre qui seul est à craindre. A ce sujet, je vous apprendrai qu'en rase campagne il serait très imprudent, pendant un orage, de chercher un refuge contre la pluie sous un arbre, surtout s'il est grand et isolé. Si la foudre doit tomber aux environs, ce sera de préférence sur cet arbre.

Les tristes exemples de personnes foudroyées qu'on déplore chaque année se rapportent, pour la plupart, à de malheureux imprudents abrités de la pluie sous le couvert d'un grand arbre.

*Extrait de : SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES
J.H. FABRE 1865*

La mort de Richmann

Dès qu'arriva en Europe la nouvelle des premières découvertes de Franklin relatives à l'électricité atmosphérique, Buffon et Dalibard élevèrent des tiges de fer pour la recueillir. Ils réussirent et de toutes parts on les imita. Un physicien de Saint Pétersbourg, Richmann, perdit la vie dans ces expériences.

La tige en fer, pareille à celle de ses prédécesseurs, s'élevait au-dessus de son habitation. Elle traversait la toiture et pénétrait dans le cabinet de travail du savant, où elle reposait sur une masse résineuse. Le 6 août 1753, Richamann était à l'Académie de Saint-Pétersbourg; communiquant à ses confrères le résultat de ses recherches, quand retentit un coup de tonnerre. Le physicien s'empressa de quitter la docte assemblée, afin de retourner chez lui pour expérimenter la barre. L'orage s'annonçait violent et il convenait d'en profiter. Voilà donc Richmann au pied de sa tige électrisée, qu'il interroge tantôt avec un appareil, tantôt avec un autre. Les résultats sont des plus satisfaisants, car le tonnerre gronde avec une violence extrême au-dessus de Saint-Pétersbourg. Entre bientôt dans le cabinet le dessinateur Sokolow, que Richmann avait fait appeler pour lui montrer ses expériences. Distract peut-être par la conversation, le physicien s'approche un peu trop de la tige. Soudain un éclair jaillit au

milieu d'un fracas épouvantable, et un globe de feu bleuâtre et de grosseur du poing atteint au front le savant, qui tombe à la renverse, sans plus donner signe de vie. Le dessinateur, lui aussi, est jeté à terre sans connaissance. Au bruit de la décharge, la femme du physicien accourt. Quel lamentable spectacle ! Elle trouve l'infortuné martyr de la science étendu mort sur une caisse, ayant encore à la main l'appareil qu'il expérimentait. A côté git le dessinateur, moins maltraité et qui peu à peu revient à la vie. Mais pour Richmann, la mort avait été instantanée.

*Extrait de : LES INVENTEURS
H. FABRE, 1860*

Les forges du ciel (Journal le Monde - 26. 06. 1985*)

Le déclenchement de la foudre nécessite un certain nombre de conditions naturelles. Un intense courant de convection, mû par la chaleur du sol, entraîne l'air en altitude. En montant, cet air se détend et donc se refroidit. Une partie de la vapeur d'eau contenue dans l'air se condense. Il y a ainsi formation d'un gros nuage d'orage (un cumulo-nimbus), très développé en hauteur, à l'intérieur duquel les gouttelettes d'eau liquide et, éventuellement, les particules d'eau gelée sont extrêmement nombreuses.

La circulation interne du nuage fait qu'un phénomène de fragmentation affecte les gouttelettes ou les particules qui portent alors des charges électriques de signes différents. La circulation interne du nuage (encore elle) sépare celles-ci et, en fonction du poids relatif des gouttelettes ou particules : en haut du nuage se rassemblent les gouttelettes ou particules à charges positives; en bas du nuage, les gouttelettes de charges négatives. Dans le même temps, sous le nuage d'orage, le sol se charge d'électricité positive, et le champ électrique est alors de 3 000 à 10 000 volts par mètre (par beau temps, sans nuage d'orage, le sol est chargé d'électricité négative, et le champ électrique n'y est que de 200 volts par mètre).

Ce champ électrique peut être très largement accru localement au voisinage de certains objets effilés pointant vers le ciel. Quand sa valeur dépasse en un point un seuil critique de l'ordre de 3 millions de volts par mètre, l'air, qui normalement est un isolant, devient subitement conducteur : une décharge électrique est alors amorcée. Dans le nuage, l'amorçage du phénomène de la foudre se fait en deux phases de durée inégale:

- D'abord, en une seconde, ces amorçages permettent à de nombreuses charges électriques de se concentrer dans une zone particulière située en bas du nuage. Ce processus est longtemps resté mystérieux : il se produit au sein du nuage et il est invisible. Ce n'est qu'en 1980 que l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (ONERA) a mis au point les méthodes et les appareils capables de suivre cette phase interne au nuage en détectant les émissions radio-électriques qui accompagnent les amorçages; le dispositif utilisé est de même nature que celui qui sert aux radio-astronomes pour localiser les pulsars et les quasars.

- Ensuite, en un millième de seconde, se forme une onde d'ionisation - le précurseur - d'une centaine d'ampères, qui descend de cette zone de concentration jusqu'au sol à la vitesse de quelques milliers de kilomètres par seconde. Lorsque cette onde, qui se comporte comme un fil conducteur, s'approche du sol, un autre précurseur sort de la terre et monte à la rencontre du précurseur venu du nuage. Ce deuxième précurseur part, préférentiellement, d'un objet pointant vers le ciel. C'est pourquoi un arbre isolé ou un être humain debout sur un

* Depuis le 1^{er} Janvier 1988, "Le Monde" possède un index qui résume, analyse et classe toute l'information parue dans ses colonnes - Pour tout renseignement complémentaire Téléphoner au 42. 47. 99. 61.

terrain nu ont l'air d' "attirer" la foudre. En fait, l'un ou l'autre sont le point de départ d'élection du précurseur ascendant. Le même principe de physique explique le fonctionnement du paratonnerre dont l'extrémité supérieure est située sensiblement au-dessus du bâtiment à protéger. Le fil métallique du paratonnerre, étant bien meilleur conducteur que la maçonnerie, canalise le courant électrique très intense engendré par la foudre, qui, ainsi, n'endommage pas le bâtiment.

Sitôt que les précurseurs descendant et ascendant entrent en contact, il se produit un formidable court-circuit qui déclenche instantanément, du sol vers le nuage, une onde de retour, elle aussi filiforme, dont l'intensité est énorme (jusqu'à 200 000 ampères) et dont la vitesse est de l'ordre de 100 000 kilomètres par seconde.

L'énergie contenue dans cette onde de retour est telle que l'air traversé est brutalement surchauffé; il se détend donc en formant une onde de choc qui produit le roulement du tonnerre; d'autre part, les atomes et molécules de l'air sont très fortement excités, d'où la subite et très brillante émission de lumière connue sous le nom d'éclair.

Y.R

II - UN EXEMPLE DE MISE EN OEUVRE DANS UNE CLASSE DE C1 (Classe de Madame CROQUETTE, Groupe Scolaire Clémenceau, Grenoble)

Voici les différentes étapes du travail mené dans une classe sur ces activités.

En premier lieu, les enfants ont rédigé des textes qu'ils ont très souvent illustrés, sur leur interprétation du phénomène. (Voir Annexe IV)

Sur 23 élèves présents, voici les interprétations données :

15 donnent au tonnerre une origine mécanique :

- 9 pensent que c'est le choc de deux nuages.
- 2 pensent que c'est le choc des nuages contre la montagne.
- 2 pensent que c'est le choc des nuages contre le soleil.
- 2 pensent que le choc de 2 nuages produit de l'électricité.

4 donnent au tonnerre une origine météorologique :

- c'est la pluie qui provoque le tonnerre.

1 donne au tonnerre une origine thermique :

- c'est la température des nuages qui provoque le tonnerre.

2 donnent au tonnerre une origine électrique :

- une décharge électrique se produit et provoque le tonnerre.

1 assimile le tonnerre à un véritable cataclysme :

- la terre et le ciel s'ouvrent et des bouts d'étoiles se touchent.

Après la rédaction de leurs propres textes, les enfants ont pris connaissance du texte n°1 dans lequel un adulte expose à son tour ses propres modèles d'enfant; le travail a essentiellement consisté à dégager cette courte chaîne causale ayant une origine mécanique (voir Annexe I - texte n°1)

Quelques jours plus tard, les enfants ont pris connaissance du texte n°2 (Annexe I). Après une lecture collective et l'explication des mots de vocabulaire difficiles, ils ont eu à répondre par écrit à trois questions :

- 1) Qu'est-ce qui provoque la foudre d'après ce texte ?
- 2) A ton avis quel âge a ce texte et pourquoi ?
- 3) Es-tu d'accord avec l'explication donnée sur le tonnerre et pourquoi ?

Tous les enfants ont correctement dégagé les idées du texte concernant le tonnerre.

Pour tous, le texte a entre 10 et 50 ans : ils expliquent qu'il ne doit pas être très vieux parce qu'il contient des mots savants.

Tous sans exception sont d'accord avec les explications du phénomène parce qu'il est exprimé "avec des mots savants". Ce qui confirme ce que l'on savait déjà, que les enfants sont extrêmement influençables, surtout dans le domaine scientifique : on a pu le vérifier antérieurement en proposant une activité sur le texte 2 à des enfants de CM2; ce texte a été lu et expliqué, puis les enfants ont été interrogés sur ce qu'ils pensaient des idées exprimées et sur son âge; les réponses et leur analyse sont rassemblées en annexe III.

Cependant, certains d'entre eux étaient un peu inquiets et désiraient savoir s'il était vrai que le tonnerre était dû à la présence de gaz dans les nuages. On leur a alors proposé le texte n°3 sur lequel un travail identique a été fait : lecture collective et explications des mots difficiles, puis travail individuel écrit avec le même questionnaire que le texte précédent.

Ce travail n'a pas posé de problèmes particuliers ; toutefois lors de la mise en commun des réponses, les enfants ont proposé de faire des dessins pour expliquer les différentes expériences proposées dans ce texte.

De même que pour le texte précédent, ils évaluaient son âge à "10 20 ans", et ce pour les mêmes raisons : vocabulaire scientifique. Un seul d'entre eux voulait savoir à quelle époque on avait découvert l'électricité pour pouvoir dater le texte.

Tous, bien sûr, étaient d'accord sur les idées proposées et surtout ceux qui, dans leur propre texte, avaient évoqué l'électricité à l'origine du tonnerre !

Certains voulaient que l'on réalise en classe les expériences décrites. C'était le moment de leur communiquer le texte sur la mort de Richmann. Ils ont fait immédiatement le rapprochement entre les deux textes et ont conclu qu'il valait mieux ne pas tenter les expériences !

Quelques jours plus tard, ils ont pris connaissance du dernier texte de cette série. Il a, lui aussi, fait l'objet d'une lecture collective, puis les enfants ont travaillé par groupe de quatre pour répondre aux questions.

Ils ont eu beaucoup plus de mal que pour les textes précédents. Dans l'élaboration de la chaîne énergétique, ils ont presque tous oublié de mentionner l'électricité au sol.

Une mise au point collective a été faite avec le support d'un dessin.

Pour clore ce cycle, on leur a projeté un film du CENG (Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble). La Foudre apprivoisée K7 Vidéo (pour tout renseignement s'adresser à : Association Techno Contact, qui vient de publier un numéro spécial "La Foudre", Ecole normale, 31, avenue Marcelin Berthelot, 38100 Grenoble)

Le débat qui a suivi a permis de constater que l'ensemble des enfants avait désormais bien perçu le phénomène.

ANNEXE I

Textes étudiés en classe

Texte n°1

LE TONNERRE

Oh ! quel éclair !.. De l'épaisseur de la nuée a jailli une lumière si vive, que le regard n'a pu en supporter l'éclat; si brusque, qu'elle nous a fait tressaillier de surprise ; si prompte, qu'elle n'a pas eu la durée d'un coup d'œil.

Attendez un peu, écoutez ... C'est fait : le tonnerre gronde. D'un nuage à l'autre semble rouler un fracas d'écroulement. Rassurez-vous, enfants : si fort que soit le tonnerre, tout péril a cessé lorsque l'éclair a lui. Rassurez-vous et causons un peu.

Quand j'étais tout petit, je me figurais que le tonnerre était produit par une grosse boule de fer roulant sur la voûte du ciel, faite d'un métal retentissant. Si la voûte crevait en un point, la lourde boule se précipitait à terre et le tonnerre tombait.

D'autres fois, le tonnerre était pour moi un chariot lourdement chargé de ferraille. Il roulait sur une voûte sonore. Sous les roues, parfois une étincelle jaillissait, comme jaillit l'étincelle sous le sabot d'un cheval qui heurte un caillou : c'était l'éclair. La voûte était glissante, bordée de précipices. S'il arrivait que le char versât, la charge de ferraille tombait à terre, écrasant gens, arbres, habitations.

Je ris aujourd'hui de mon explication enfantine, qui repose sur l'idée d'une voûte sonore.

J.H. FABRE 1865
"Sciences physiques et naturelles"

Texte n°2

Le tonnerre est composé d'exhalaisons propres à s'enflammer, telles que le soufre par exemple, auxquelles l'action des vents, le choc des nuages et la chaleur du soleil font prendre feu. Au moment où ces exhalaisons s'allument, une flamme brillante sort du sein du nuage, et voilà l'éclair.

Comme ces exhalaisons sont resserrées dans le nuage, il faut qu'elles fassent effort pour se dégager, c'est ce qui occasionne ce bruit effrayant.

Les éclairs ne sont pas toujours suivis d'un coup de tonnerre, parce que l'inflammation est quelquefois trop faible pour agiter l'air d'une manière sensible.

Si le courant de matières enflammées se trouve assez abondant pour venir jusqu'à nous, il se précipite comme un rideau de feu; on dit alors que le tonnerre tombe. Les effets du tonnerre sont différents suivant l'action du vent et la nature des matières qui le composent.

Dans les grandes sécheresses, nous avons besoin du tonnerre pour ébranler assez fortement les nuages pour faire tomber la pluie. D'un autre côté, le tonnerre fait quelquefois de grands maux; mais ces cas là sont rares, et, sur 20 000 personnes qui meurent des fièvres, à peine en meurt-il 1 du tonnerre.

Ce n'est pas, mon fils, qu'il faille braver ses effets; quand ses coups sont secs, et qu'ils suivent de près l'éclair, c'est une marque qu'il n'est pas loin. Il y aurait alors de l'imprudence à ouvrir les fenêtres, parce que, s'il venait à tomber dans le voisinage, le courant de l'air pourrait l'entraîner dans les appartements.

Le mentor des enfants. Manuel scolaire, 1815

Texte n°3

Un nuage sombre s'élève de l'horizon; il étend son voile épais sur l'azur des cieux, et dérobe à nos yeux les rayons du soleil. L'obscurité marche avec lui, il porte dans son sein le ravage et la mort. Il s'entrouve : mille feux étincelants s'en échappent, s'élancent, se précipitent sur la terre. Un bruit sourd gronde dans les airs.

La foudre est partie et déjà ces chênes orgueilleux sont réduits en poussière, déjà ces superbes édifices sont devenus la proie des flammes dévorantes.

C'est un fait démontré, que souvent le ciel et les nuages sont électrisés, quoiqu'on ne sache guère par quel mécanisme physique s'opère le phénomène.

Une tringle de fer posée sur des supports propres à s'électriser et placée dans un lieu élevé, tel que le donjon d'un château, ou le sommet d'une montagne, s'électrise par communication quand le nuage électrisé s'en approche ou la touche, en soutirant le feu électrique dont le nuage est chargé.

Les effets de la foudre se manifestent par des coups qui se font entendre au loin et par l'embrasement. Les édifices qui en sont atteints sont souvent la proie des flammes. Les hommes qu'elle a frappés sont souvent noirs et brûlés.

Lorsque dans un temps d'orage on suspend en plein air, à des cordons de soie, une épée ou une chaîne, ces corps deviennent électriques. Tous les effets de l'électricité se manifestent en temps d'orage; et il n'est plus possible de douter que l'éclair et le tonnerre ne soient l'effet d'un violent feu électrique.

Dans l'atmosphère, des amas de gaz hydrogène et oxygène viennent se combiner à l'aide de l'étincelle électrique. Les détonations atmosphériques doivent être l'effet de la combustion de ces deux gaz qui se transforment en eau. Aussi, les coups de tonnerre sont-ils souvent suivis d'une pluie rapide.

Tout ce qui paraît funeste ou merveilleux dans les phénomènes naturels disparaît donc à mesure qu'on se familiarise avec les observations.

proposé aux enfants d'après le texte du Journal "Le Monde" (26. 06. 1985) Texte n°4

LES FORGES DU CIEL

Le déclenchement de la foudre nécessite un certain nombre de conditions naturelles. La chaleur du sol entraîne l'air en altitude. En montant, cet air se détend et donc se refroidit. Une partie de la vapeur d'eau contenue dans l'air se condense. Il y a ainsi formation d'un gros nuage d'orage, très développé en hauteur, à l'intérieur duquel les gouttelettes d'eau liquide sont extrêmement nombreuses. Les mouvements à l'intérieur du nuage font s'électriser les gouttelettes.

Dans le même temps, sous le nuage d'orage, le sol se charge d'électricité.

D'abord, en une seconde, de nombreuses charges électriques se concentrent dans une zone particulière située en bas du nuage. Ce processus est longtemps resté mystérieux : il se produit au sein du nuage et il est invisible. Ce n'est qu'en 1980 que l'office national d'études et de recherches aérospatiales a mis au point les méthodes et les appareils capables de suivre ces phénomènes.

Ensuite, en un millième de seconde, se forme une onde qui descend de cette zone de concentration jusqu'au sol à la vitesse de quelques milliers de kilomètres par seconde. Lorsque cette onde s'approche du sol, une autre sort de la terre et monte à la rencontre de celle venue du nuage. Cette deuxième onde part plutôt d'un objet pointant vers le ciel. C'est pourquoi un arbre isolé ou un être humain debout sur un terrain nu ont l'air d'attirer" la foudre.

Sitôt que les ondes ascendantes et descendantes entrent en contact, il se produit un formidable court-circuit. L'énergie est telle que l'air traversé est brutalement surchauffé; il se détend donc en formant une onde de choc qui produit le roulement du tonnerre ; d'autre part, les atomes et molécules de l'air sont très fortement excités, d'où la subite et très brillante émission de lumière connue sous le nom d'éclair.

Texte Claude CROQUETTE, 1986

D'après texte du Monde paru en juillet 1985

ANNEXE II

Interprétation de la foudre

par des enfants de CM2, après avoir pris connaissance du texte 2.

Après avoir pris connaissance de celle de l'auteur, chaque enfant a donné son opinion.

De nombreuses explications sont proposées par les élèves pour expliquer la foudre.

Chaque enfant possède sa représentation (sauf 1), souvent influencée par le contenu du texte.

Voici quelques interprétations :

Sonia : je crois que le tonnerre est le bruit qui est fait par la rencontre de deux nuages, s'il n'y a pas de nuages il n'y a pas de tonnerre : l'éclair est fait de vapeurs qui s'enflamment.

Frédéric : le tonnerre est lié à une sorte d'explosion de gaz ou de vapeurs, il est moins dangereux dans l'air que sur la terre.

Marie-Anne : le tonnerre est formé d'éclairs et de gaz qui s'enflamment.

Pascal : je ne crois pas que ce soit du feu, sinon le vent l'éteindrait; c'est plutôt de l'électricité (poussée par le vent) les nuages passent dessus, ils se frottent très fort, les matières qui se frottent, s'électrisent ; les nuages absorbent l'électricité comme une éponge, quand il y en a trop et si les nuages sont humides ça fait du courant : l'éclair tombe. Tous les éclairs vont des nuages vers la terre, ils partent des nuages et s'enfoncent dans la terre ; l'énergie de l'éclair provoque le bruit.

Zahra : la rencontre des nuages ne fait pas de bruit, je ne suis pas d'accord sur le bruit du tonnerre; quand on fait de la soupe et que la fumée veut sortir ça fait du bruit.

Karim : je suis tout à fait d'accord car ne n'y ai jamais pensé, et je ne compte pas commencer maintenant.

Géraldine : c'est la fumée des usines et des maisons qui font les nuages, ça assombrit, ça empêche de voir le soleil briller, quand ils se cognent ça fait du bruit et ça fait l'éclair.

David : je pense que le tonnerre est plus dangereux que les fièvres, car avec le tonnerre il y a l'éclair qui est à base d'électricité.

Karine : avant ce texte, je croyais que le tonnerre était fait comme ça : les nuages remplissent le ciel, ils se cognent et font le bruit du tonnerre. Alors que, dans le texte, il explique que c'est des vapeurs qui s'enflamment et qui poussées par le vent font le bruit du tonnerre. Je pense que ce qu'il raconte est un peu plus juste parce que plus compliqué (que l'explication donnée par les parents).

Jérôme : Je pensais plutôt qu'il était provoqué par la chaleur ; avant l'orage il fait lourd, les matières qui sont dans l'air (sous l'effet de la chaleur et de l'humidité) font de l'électricité. Avec l'éclair, on pourrait produire de l'électricité. Ce texte m'est apparu intéressant, il est instructif, il dit de quoi est formé l'éclair, je pense que c'est vrai.

Analyse de ces représentations

On peut les classer en plusieurs catégories.

- *.Une explication mécaniste : le choc des nuages entraîne le bruit et éventuellement l'éclair.

- * Un volet "écologique" foudre - pollution : les nuages sont constitués par les fumées des maisons et des usines ; avant la construction des premières maisons et des premières usines, les premiers hommes devaient ne pas souvent voir de nuages ... cette contradiction ne semble pas les gêner, à moins que d'autres phénomènes aient contribué alors à la formation des nuages.

- * Une explication chimique de la foudre (un peu comme celle proposée dans le texte) : les vapeurs s'enflamment.

Quelles sont ces vapeurs ? quelle est leur origine ? comment se rassemblent-elles dans les nuages ? autant de questions non évoquées et qui restent sans réponses.

Les sous-produits peuvent être assez divers et ne sont pas toujours ceux que l'on attend, par exemple, : la foudre produit de l'énergie que l'on voudrait transformer en électricité. Mais si la puissance de la foudre est énorme, l'énergie mise en jeu est faible. Les comparaisons faites dans les journaux scientifiques et reprises par les enfants laissent rêveur, exemple : un coup de foudre permettrait, d'après un enfant, d'éclairer New-York pendant trois jours !

- * Une explication assez voisine de celle qui est présentée dans la littérature : électrisation par frottement, puis claquage entre les nuages et le sol. Le claquage entre nuages élevés formés de charges de signes contraires n'est pas évoqué.

- * Un enfant fait allusion, sans le savoir, à cette fameuse foudre en boule : serpent de mer qui se manifeste aux simples sans se laisser observer par les savants.

ANNEXE III

Age du texte

Les enfants n'imaginent pas qu'il existe une évolution dans la connaissance scientifique. C'est ce que permet de vérifier l'activité relatée ci-dessous.

On propose aux enfants de dater le texte dont ils ont pris connaissance.

Voici leurs réponses :

Sonia : je pense que ce texte a une vingtaine d'années, si le texte était plus vieux, il n'y aurait pas autant de choses (d'informations), c'est depuis peu qu'on connaît ça, mais il y a des mots qui ont changé.

Frédéric : je pense que ce texte a été écrit pendant les 20 dernières années.

Marie-Anne : je pense que ce texte est assez jeune.

Jérôme : le texte a 20-25 ans, il y a 50 ans on ne pouvait pas dire autant de choses sur l'éclair. Mon grand-père a dû l'apprendre après sa sortie de l'école. Avant on ne pouvait pas expliquer et dire tant de choses.

Nicolas : le texte est récent, sinon il y aurait des noms de savants.

Yann : le texte date de 4 ou 5 ans.

Karim : le texte doit avoir de 10 à 20 ans.

Olivier : ce texte est assez récent.

Fabrice : ce texte est ancien parce que le tonnerre existe depuis toujours.

Claire : je n'en ai aucune idée.

Juan : je trouve le texte relativement récent.

Géraldine : je dis vers les 30 ans. Moi, je suis d'accord avec ce texte, car ma maman quand elle était petite, elle a vu la foudre entrer par la cheminée, passer derrière le buffet, faire bouger les verres et sortir par la porte.

David : on ne peut pas savoir en quelle année ça c'est passé.

Karine : je crois que ce texte date de 10 à 20 ans en arrière, c'est à dire à peu près en 1975, ce qu'il raconte est un peu plus juste, parce que plus compliqué que ce que racontent mes parents.

Critères évoqués par les enfants pour évaluer l'âge du texte

a) la langue évolue :

Sonia : "mais il y a des mots qui ont changé".

b) l'analyse du phénomène faite par l'auteur est plus complète que celle des enfants, les informations contenues dans le texte sont plus importantes que celles évoquées habituellement par les parents :

Karine : “ce qu’il raconte est un peu plus juste et plus compliqué que ce que racontent mes parents”.

Sonia : “si le texte était vieux, il n’y aurait pas tant de choses”.

Jérôme : il y a 50 ans, on ne pouvait pas dire tant de choses, mon grand-père a dû l’apprendre après sa sortie de l’école”.

Conclusion : au moment où mes parents étaient à l’école, on ne leur en avait pas parlé, c’est que cela était inconnu.

c) réponses équivoques : apparemment, la science ancienne était le fait d’un petit nombre d’individus : les savants; race peut-être disparue. Ce sont ces “géants” qui ont construit la science ancienne. On peut leur attribuer nominativement leurs découvertes. Maintenant, la science est le fait de tout un chacun, c’est une épopée collective.

Ce texte n’est pas attribué, ni même signé par l’un d’entre eux, celui qui l’a écrit n’est pas un de ces savants personnages, ... ce ne peut être qu’un de ces nombreux scientifiques qui prolifèrent actuellement qui en est l’auteur ...

d) le tonnerre existe depuis toujours : l’interprétation de ce phénomène peut être aussi vieille que l’humanité ; ce texte peut donc être très vieux. S’il était question d’un objet technique dont on connaît la date de l’invention, il serait alors possible de dater le texte qui fait référence. “Ce texte est ancien, puisque le tonnerre existe toujours”.

e) des situations analogues ont été décrites par les parents qui les ont eux-mêmes vécues. La date de conception du texte est identifiée à celle à laquelle le phénomène observé a eu lieu.

Conclusion

Pour les enfants, l’histoire de la science est constituée par deux périodes : les

50 dernières années (c’est environ l’âge de leurs parents), et l’époque antérieure.

La science s’est en grande partie construite pendant ces 30 dernières années. Toutefois, au cours de la période antérieure, des avancées décisives dans la connaissance des sciences ont eu lieu.

Mais, pour les enfants, elles sont très personnalisées. Elles ont été réalisées par des personnes peu nombreuses et illustres, l’histoire a retenu leurs noms.

ANNEXE IV

Interprétations personnelles des enfants à propos de la foudre et du tonnerre.

Sur 23 élèves présents, voici les interprétations données :

a) 15 donnent au tonnerre une origine mécanique

a/1 - 9 pensent que c'est le choc de deux nuages.

“C'est deux nuages qui se rencontrent et provoquent le tonnerre ou la foudre. La foudre peut causer des ennuis quand elle casse des arbres, attention ! La foudre, c'est des petits bouts de grêlon.

Le tonnerre ça tonne, et ça pleut très fort, avec la foudre il ne faut pas être sous un arbre car l'arbre nous tomberait dessus.

Quand il y a le tonnerre, ça fait une sorte de zig-zag, et il illumine les yeux”.

Sandra

a/2 - 2 pensent que c'est le choc des nuages contre la montagne

“C'est quand un nuage se cogne contre une montagne, ça provoque le tonnerre et les éclairs et la pluie. Ce n'est pas obligé qu'il “y a” la pluie”.

Jennifer

a/3 - 4 pensent aussi que c'est le choc des nuages contre le soleil ou que le choc de deux nuages produit de l'électricité.

b) 4 donnent au tonnerre une origine météorologique ou thermique

- c'est la pluie qui provoque le tonnerre.

“Le tonnerre est provoqué par les pluies et les éclairs; mais les tonnerres sont quand la pluie est très forte. Mais le tonnerre est une décharge électrique puissante qui fait beaucoup de catastrophes flambantes.

L'éclair est provoqué par les froids”

Christophe

c) 2 donnent au tonnerre une origine électrique

- une décharge électrique se produit et provoque le tonnerre

“Le tonnerre éclate quand dans un nuage deux zones d'électricité se touchent. Alors l'électricité est tellement forte qu'elle fait descendre des nuages une grande énergie qui peut mettre le feu aux arbres.

C'est comme une ampoule électrique, il y a tellement de puissance que ça chauffe et ça éclaire”.

d) 1 assimile le tonnerre à un véritable cataclysme

- la terre et le ciel s'ouvrent et des bouts d'étoiles se touchent.

“Ca doit être la terre qui s'ouvre et il doit en sortir un bruit qui va dans le ciel, c'est la terre qui s'ouvre et les éclairs sont des bouts d'étoiles qui se touchent et, aussi il y a des éclairs de chaleur en été la nuit, et il y a de l'orage quand il fait mauvais temps”

Laurent.