

Une conscience de l'espace et du temps à travers l'enseignement des sciences

Travail de fin de formation Didascalie

*Les êtres humains se questionnent,
Pour résoudre l'énigme du monde,
et en oubliant de regarder comment la vie,
dans le cours de son rythme,
est la vraie solution de cette énigme (R. Steiner)*

Ce n'est pas le temps qui passe, c'est nous qui passons le temps (A. Einstein)

*De l'être propre put renaître mon Moi,
Il se retrouve mais révélé de par le monde,
En formes d'espace et de temps.
Partout l'univers me montre,
De la divine image originelle,
La vérité que j'en reflète. (R. Steiner)*

Pierre JAMMES
3^{ème} année Didascalie promotion 6
Option pédagogie générale
Référent : Jean Pierre Ablard

Sommaire

Introduction

Origine de mon questionnement.

Préambule.

Référentiel.

1) La conscience du temps et de l'espace (→ 8ème)

a) A travers l'eurythmie, l'histoire et la géographie.

b) Les expériences fondamentales de 8ème en physique.

2) A la conquête de l'espace, grâce au mouvement

a) Le repère cartésien et la thermodynamique en 9ème.

b) La cinématique terrestre en 10 ème.

c) La cinématique dans le système solaire.

3) Appréhender l'invisible et les infinis

a) Découverte de l'infini et de l'électromagnétisme (11ème).

b) Le calcul infinitésimal et la géométrie projective (12ème).

Conclusion et ouverture

Annexes (poèmes, dossiers d'élèves ...)

Bibliographie

Remerciements

Origine de mon questionnaire

Mon questionnaire est venu d'interrogations des élèves autour du sens spirituel de l'enseignement de la physique (et des maths). Après avoir écouté ces questions venues sous différentes formes à diverses reprises, je me suis rendu compte que le sens des sciences était une question fondamentale même pour les plus littéraires d'entre eux.

Un beau jour de printemps 2015, nous sommes allés visiter le CERN (Centre Européen de Recherche Nucléaire) avec les 11èmes et les 12èmes. Nous sommes descendus 100 mètres sous terre, coiffés de casques, nous avons arpenté des couloirs bétonnés, remplis d'ordinateurs et de câbles aux diamètres énormes.

Nous sommes arrivés en face d'une sorte d'oeuil électronique géant (voir photo annexe) où les particules se rencontrent dans une « explosion de joie ». Pendant que deux accompagnatrices expliquaient aux élèves intéressés le fonctionnement des cristaux artificiels, une élève très sensible a demandé à remonter à la surface et un autre a demandé « Monsieur, à quoi ça sert ? »

Et pour une fois, je n'ai pas répondu avec une réponse déjà préparée d'avance (ex : retombées médicales ou en imagerie statistique...). J'ai écouté sa question et je l'ai laissée raisonner en moi-même. Je lui ai alors dit que selon moi, cela ne servait à rien (avec le sentiment intérieur qu'il était soulagé et que je lui avais répondu honnêtement).

Le lendemain matin, les élèves de la 12ème sont arrivés dans une ambiance de fin du monde, et nous avons discuté de l'intérêt (ou pas !) de la science, de leurs sensations que nous détruisions la nature...

J'ai alors pris conscience que si je voulais leur offrir une perspective réaliste et censée (sans nier leur intuition, que je partage qui plus est), il fallait que je leur parle de ce qui me donne de l'espérance dans l'évolution terrestre (à la lumière des écrits de R.Steiner).

De ces deux heures de discussion, est née en moi, le désir de me demander comment transmettre aux élèves une conception de l'espace, du temps et du mouvement qui puisse leur donner une vue globale (oserais-je dire *cosmique* ?) de ce qui se passe maintenant sur la Terre.

Courage, plongeons.

Préambule

Je suis professeur de physique-chimie et mathématiques dans les grandes classes à l'école Rudolf Steiner de Genève depuis bientôt deux ans et en formation à Didascalii depuis trois ans.

La première année de mon enseignement, j'ai construit les périodes au fur et à mesure du déroulement de l'année, avec comme arrière fond le plan scolaire et ses fondements, et une vision plus théorique qu'expérimentée des rythmes septénaires, en particulier celui de l'adolescence. La question principale en moi concernait à chaque fois, ce que les élèves avaient fait avant et quel pouvait être pour eux, l'intérêt de la période à venir.

Je réalise avec un peu plus de recul, avec mes propres bilans et avec le retour des élèves, que les périodes leurs ont plus ou moins apportées mais surtout que je n'ai jamais vraiment réfléchi à l'enseignement des périodes dans une continuité de la 8^{ème} à la 12^{ème} classe.

Le but de ce travail de fin de formation est donc pour moi de chercher, conscientiser et expliciter un fil directeur qui sous-tendrait l'enseignement des sciences. Cela afin de pouvoir avoir en conscience une perspective, un liant et un objectif pour les adolescents . Car j'ai vraiment expérimenté la nécessité de pouvoir certes introduire et conclure une période mais aussi de leur parler de la suite (sans forcément rentrer dans les détails).

En interrogeant, je me suis souvenu d'une phrase de Pierre Paccoud (professeur de chimie-physique à Colmar) qui me disait qu'un des objectifs d'une scolarité en école Steiner était que l'élève prenne conscience de son existence et puisse la placer entre la naissance et la mort.

D'où mon questionnement :

Comment les sciences permettent à l'élève de prendre conscience du temps terrestre (entre un naissance et une mort), de l'espace terrestre et du mouvement qui « crée » la conscience des deux ?

Et même en allant plus loin, imaginez l'infiniment grand (une continuité de la conscience humaine à travers les époques et une conscience «cosmique ») l'infiniment petit et ses rythmes invisibles et percevoir les résonances entre les deux.

Référentiel

Plan scolaire :

Les périodes de sciences s'appuient sur des expériences faites durant le cours principal et à partir d'articles ou de schémas). Les indications de période correspondent à ce qui fait à Genève (pour les grands, à partir de la 9ème le référentiel est le plan scolaire suisse dans les écoles Waldorf puis le programme français pour le bac à partir de la 12ème).

Expériences :

Les expériences que j'ai choisies pour illustrer mon propos sont structurées ainsi : déroulement/schéma /observations/ conclusion/ prolongement-perspectives. Dans un déroulement idéal (pas toujours réalisé en pratique), après que le professeur a expliqué le déroulement d'une expérience, les élèves observent l'expérience puis notent leurs observations et la conclusion est à faire pour le lendemain. Le lendemain, un retour collectif est fait jusqu'à ce qu'une caractérisation commune apparaisse et il ne reste au professeur qu'à la reformuler à partir d'un vocabulaire scientifique à définir ou à rappeler.

Certaines fois, il faut reprendre l'expérience, soit parce qu'elle a « raté » (tout ou partie du déroulement n'étant pas conforme aux attentes du professeur), soit pour insister sur un aspect que les élèves n'ont pas ou peu vu , soit pour la ressusciter (au sens littéral du terme) ou encore pour proposer une version modifiée, simplifiée ou complexifiée. Le but final étant d'obtenir une image d'ensemble d'un phénomène.

Unités scientifiques :

Toutes les grandeurs peuvent être décrites avec seulement 4 unités scientifiques officielles :

- Le mètre comme mesure de l'espace, noté m.
- La seconde pour mesurer le temps, notée s.
- Le kilogramme pour mesurer une masse, noté kg. (et non pas le gramme !)
- L'Ampère pour mesurer une intensité électrique, noté A.

Toutes les autres unités peuvent être définies à partir de celles-ci : (13ème classe)

- Pour mesurer le mouvement : la vitesse s'exprime en m/s par exemple
- Les forces sont mesurées en Newtons (noté N) mais $1N = 1kg \cdot s^2/m$
- Toutes les autres unités électromagnétiques sont aussi définies à partir de la loi d'Ohm et des Ampères.

1) La conscience du temps et de l'espace → 8ème

a) A travers l'eurythmie, l'histoire et la géographie.

Nous sommes tous gens du voyage. Et ce voyage est la vie. Nous traversons l'un après l'autre des pays où les perspectives et les aventures ne se comparent pas entre elles, où change jusqu'à la perception que nous avons des êtres, des choses, de temps et de l'espace. (Christiane Singer , Les âges de la vie)

Ce voyage sur Terre commence par une conception puis une naissance (on pourrait légitimement s'interroger sur l'état de conscience qui précède la conception, mais ne nous égarons pas).

Pour le petit enfant, il suffit de quelques secondes ou quelques mètres d'éloignement d'avec sa mère et le nouveau né hurle. D'ailleurs, une sage-femme eurythmiste me disait qu'elle conseillait vivement aux parents que le nourrisson dorme dans un lit proche du leur.

La conscience de l'espace et du temps du nouveau né est donc immédiate et très localisée. (On peut se demander si le besoin intense de dormir permet de passer dans un autre état de conscience où l'espace et le temps sont plus dilués et fluides, pour équilibrer et se ressourcer). L'espace primordial est dans les bras de sa mère.

Cet espace va s'agrandir progressivement: espace de jeu, jardin d'enfant ...

A partir de la première classe, l'enfant commence à investir d'autres espaces (ballade en forêt, salle d'eurythmie), des cours de périodes qui changent toutes les trois semaines . Le passage du temps est alors rythmé par les périodes, les fêtes cardinales, les anniversaires et le passage en classe supérieure. Mais cette conscience est encore diffuse et largement ancrée dans le monde des images et du mouvement. Les mouvements eurythmisés, par exemple, sont surtout des déplacements sur le cercle ou par rapport à son centre

Au passage du Rubicon, l'enfant prend conscience largement inconsciemment de sa séparation d'avec le tout, de son unicité et de sa mortalité. **Il est alors projeté hors de l'éternel présent** avec des questions (pas forcément explicites !) sur la naissance, la mort et la conscience d'un passé , d'un présent et d'un futur.

« Quand commence le temps et où finit l'espace [...] Comment est-ce possible que moi qui suis moi, Avant que je n'existe, je n'existais pas, Et qu'un jour, moi, qui suis moi, Je ne serai plus celui que je suis ? »
Als das Kind Kind war (tiré du film de Wim Wenders, les ailes du désir)

On passe alors dans l'enseignement, des contes et mythes aux histoires attestées et à la géographie réelle. **L'enfant fait partie du monde.** L'histoire va alors balayer, les anciennes civilisations ainsi que l'empire romain, pour finir par le moyen âge et la période post-renaissance (à partir de la 8ème). Une perspective plus large du temps est élaborée avec les frises qui décrivent le devenir historique selon un déroulement linéaire du temps. Notons que c'est à partir de la 8ème que commence les périodes de sciences qui s'appuient essentiellement sur les découvertes de cette période post-renaissance (avec par exemple : une astronomie hélio-centrée et la découverte des temps géologiques de la Terre).

La géographie, quant à elle, va permettre de passer d'un espace local, la classe, la ville ou le département à un espace beaucoup plus global, des pays jusqu'aux continents. En 6ème classe, la période d'astronomie bien que géocentrée va permettre d'envisager une perspective plus large de l'espace au sein du système solaire.

La conscience du temps et de l'espace s'est donc considérablement élargie au cours de ce premier cycle de huit années. En eurhythmie, le pré-adolescent est alors capable de mouvement individuel avec d'éventuels croisements et à la fin de la 8ème, il prépare la pièce de théâtre qui va impliquer une conscience spatiale et temporelle des autres acteurs et du public.

J'ai alors cette image générale dans ma conscience : avant la huitième classe, l'espace est géocentrée (même s'il envisage l'espace jusqu'au soleil) et la conscience temporelle a beaucoup exploré le passé (surtout les dix milles dernières années).

Un des retournements progressifs qui va alors s'opérer dans les grandes classes, consiste à entrevoir une conscience de l'espace tournée vers l'infiniment grand (où le système solaire n'est plus du tout au centre de l'univers, voir image en annexe) ainsi qu'une conscience du temps qui puisse sentir les mouvements du passé pour pouvoir envisager l'évolution de la conscience sur les dix milles prochaines années par exemple (vaste programme mais au combien passionnant)

Si l'enseignement des sciences (entre autres) parvient à donner cette perspective, certes toujours inachevée, alors je crois que nous aurons donné du sens à notre métier. Explicitons donc certaines étapes intermédiaires pour atteindre cela La

8ème classe propose beaucoup de concepts fondamentaux pour la suite de l'aventure scientifique dans les grandes classes. On commence à définir les unités de volume et de surface et à chercher des liens entre temps et espace grâce aux mouvements.

b) Les expériences fondamentales de 8ème classe

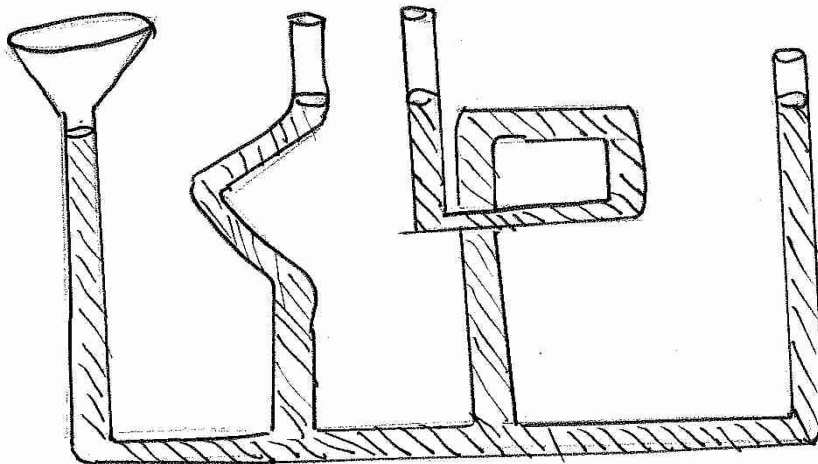
L'objectif de cette période de physique est l'étude des fluides (eau, air et huiles) et de leur pression ainsi que la force de "flottaison" d'Archimède. Cette période va permettre de présenter les forces de gravitation et une première force polaire qui permet aux bateaux de flotter.

« Le haut et le bas »

Déroulement : Le professeur verse un liquide avec un colorant violet dans un entonnoir au dessus d'un tube vertical, lui même relié à d'autres tubes par un système de vases communicants (voir schéma) :

Expérience des vases communicants

Mr. Jammes a pris une sorte de liquide violet . Il a versé le liquide dans un tuyaux lier a plusieurs différent tuyaux .



J'ai observer que le liquide versé monte dans chaqu'un des tuyaux au même niveau.

Observations :

L'eau s'écoule vers le « bas » du premier tube puis rapidement remonte dans tous les autres tubes à la même « hauteur » ou à la même vitesse.

Quand le professeur arrête de verser de l'eau colorée, le niveau de l'eau dans chacun des tubes est à la même hauteur.

Conclusions :

L'eau est attirée vers le « bas » (direction appelée verticale) jusqu'à ce que le verre du récipient l'empêche d'aller plus loin.

Elle a une surface (en contact avec l'air) supérieure qui est « horizontale » (droite perpendiculaire à la verticale)

En plus, c'est comme si elle avait une unité, ce qui se passe en un tube a une influence sur les autres tubes. (*conscience de l'eau d'elle même*)

Nous venons de définir deux axes perpendiculaires pour se repérer dans l'espace .

Prolongements :

La verticale terrestre par par le centre de la terre (un australien a donc une autre verticale) et l'horizontale est une droite « locale » puisque le tour de la terre est un cercle ! Quel est le haut ? (chaque colonne vertébrale verticale individuelle pointe en fait vers une étoile unique). Pourquoi l'eau est-elle attirée vers le centre de la terre ? (voir chute des corps en 10 ème classe). Ces deux axes vont nous permettre d'introduire le repère cartésien pour se repérer dans l'espace (9ème classe).

Le mètre et la seconde (8 ème classe)

Contexte : Le but ultime de cette période de 8ème classe en physique est de comprendre le théorème d'Archimède ce qui implique de comprendre la notion de masse, de volume, de masse volumique et la pression (dans l'air et l'eau entre autres)

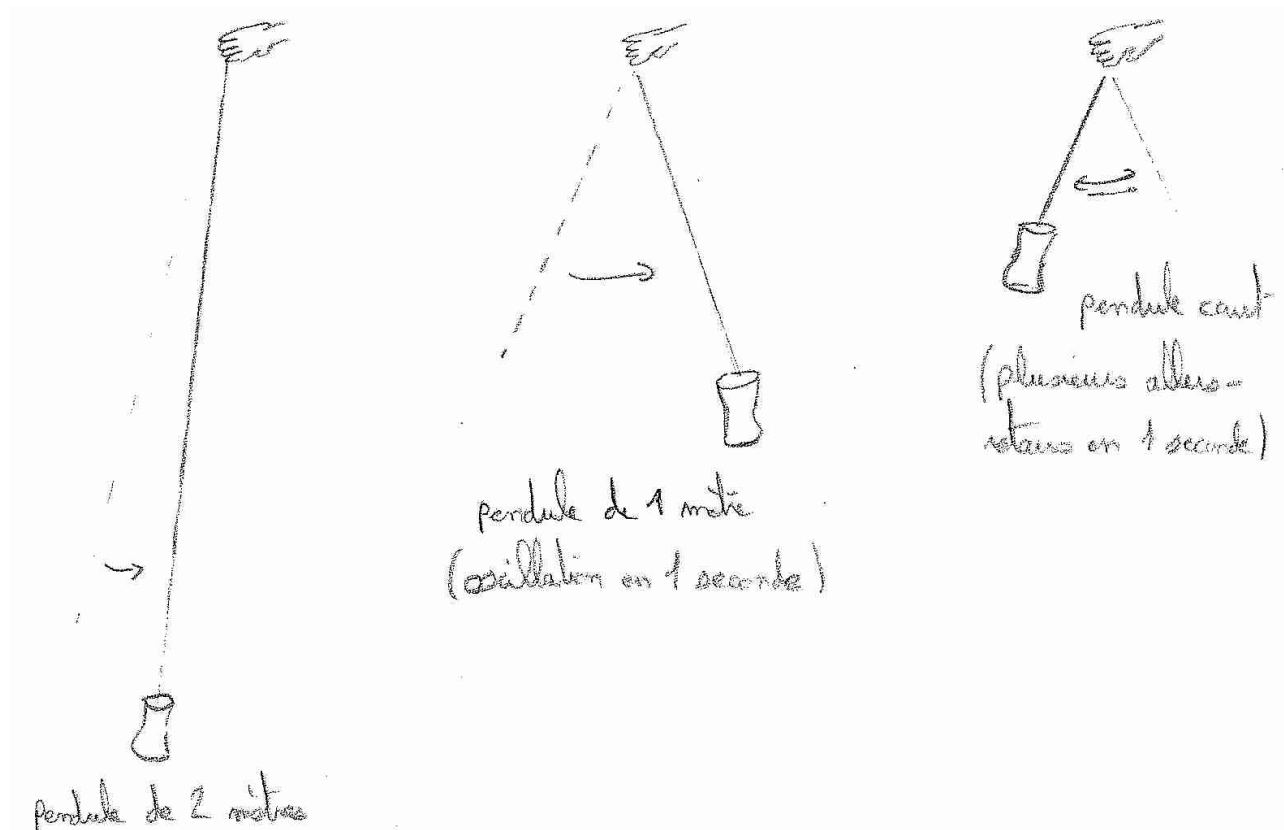
Pré-requis :

Les élèves ont déjà effectué des mesures (d'abord avec des références corporelles : pouces, empan.. puis avec un référentiel commun : le mètre). Ils connaissent les masses et l'utilisation de la balance.

Déroulement :

Une masse est accrochée à un fil qui est alors tendu. Le professeur règle un métronome sur une pulsation de 1 seconde. Après avoir écarté le pendule de sa position verticale, le professeur lâche le pendule juste sur un «bip» du métronome. Le professeur recommence l'expérience en faisant varier la longueur du fil (de deux mètres à 20 centimètres) et en accrochant différentes masses.

Schémas :



Observations :

Le pendule effectue des allers-retours appelés oscillations avec un certain rythme appelé période (on peut dire aussi en un certain temps). La masse n'a pas d'incidence sur le rythme des oscillations du pendule par contre si la masse augmente, il y a de moins en moins d'oscillations jusqu'à l'arrêt. Par contre, si on rallonge la corde, le rythme des oscillations est plus long (plusieurs bips pour faire un aller). Et pour une longueur d'un mètre, le rythme du pendule est exactement le même que celui du métronome

Conclusion :

La seconde est obtenue à partir d'un rythme cosmique (journée solaire divisée en 24 heures ; puis 60 minutes puis 60 secondes). Le mètre est ensuite défini comme étant la longueur pour laquelle un pendule fait une demi-oscillation en 1 seconde.

C'est une mesure de l'espace obtenu à partir d'un mouvement objectif et extérieur à nous même.

Le mètre et le kilogramme (8ème)

Pré-requis :

Avoir compris la balance de Robertval et son équilibre (6ème).

Avoir défini les volumes élémentaires (8ème).

Déroulement :

Le professeur place sur une balance, une masse de 1kg sur le plateau de droite et un récipient cubique vide (idéalement transparent) ayant un volume d'un décimètre cube. Il prend une bouteille d'un litre remplie à ras bord d'eau froide et verse progressivement le contenu de la bouteille dans le récipient.

Observations :

L'eau remplit le récipient jusqu'à ras bord sans déborder.

La balance est alors équilibrée .

Conclusion :

Un volume d'un litre (unité courante pour les liquides) est égal à un volume d'un décimètre cube. **Un kilogramme est la masse d'un litre d'eau à 4°C (définition officielle).** Et comme le mètre est relié à la seconde, (voir expérience précédente), cette unité de masse (qui est en fait une unité de force car la masse est attirée par la gravitation) est encore reliée à la seconde et nous avons une autre **unité définie cette fois ci à partir d'un état d'équilibre (arrêt du mouvement de la balance).**

Prolongement :

Les sens du mouvement et de l'équilibre nous permettent d'appréhender le temps, l'espace et les volumes comme les différentes expressions d'un tout. Les unités de tous les phénomènes vus jusqu'ici en sciences (magnétisme mis à part) sont maintenant reliées entre elle.

Et surtout, nous pouvons quantifier les phénomènes avec des mesures qui ne dépendent plus de la personne ou du contexte historico-géographique.
Ces lois semblent valables dans tout le système solaire et sont établies à partir du sens du mouvement et de l'équilibre,

A la fin de la 8ème classe, l'adolescent a envie de se projeter vers le futur on peut alors lui parler des sciences post-renaissance, qui à l'aide des mathématiques, vont permettre de construire quantité de machines pour se déplacer, communiquer, s'éclairer. Il est grand temps de parler des machines à vapeur, des forces mécaniques et de la puissance de l'électricité..

Il me paraît important qu'ils puissent sentir comment l'être humain à toujours chercher à éviter les efforts physiques intenses et les tâches répétitives (concept fondamental à l'adolescence). Mais que pour y parvenir, il aura fallu un effort considérable de pensée, d'expérimentation et des générations de chercheurs acharnés.

2) A la conquête de l'espace

a) Repère cartésien et thermodynamique

Le repère cartésien(maths, 9ème)

Pré-requis :

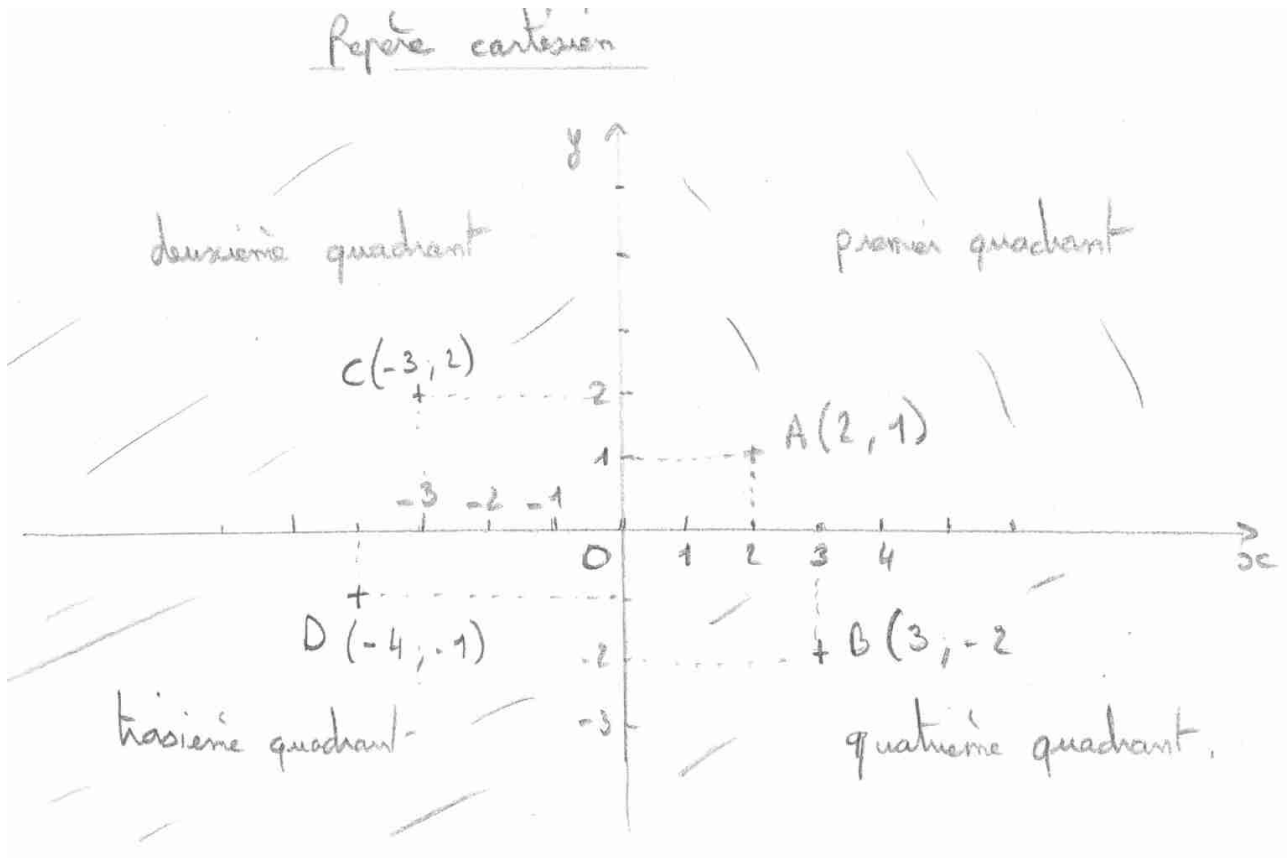
Se repérer sur une droite graduée avec des nombres réels et relatifs.

Introduction de la notion : (histoire vraie ou légende?)

René Descartes (1596-1650) cherchait à relier trois domaines des mathématiques : L'arithmétique , L'algèbre et la géométrie.

Un jour qu'il était malade et allongé sur son lit, il prit le temps d'observer une mouche en train de se déplacer sur le plafond. Il se demanda alors comment suivre ou déterminer les points d'arrêts de la mouche. Il eut alors l'idée de repérer chaque point avec ses projections sur les deux axes perpendiculaires. Le repère cartésien était né !

Schéma :



Conclusion/Utilisation :

On peut alors se repérer dans l'espace en 2 dimensions . C'est le fondement du repérage cartographique, des écrans d'ordinateur, et de la description des mouvements en sciences

Prolongements :

On va ouvrir cet espace à la géométrie en trois dimensions (12-13ème). Ce sera notre référentiel pour dessiner puis décrire des représentations de fonctions (9ème-> 13 ème) et ainsi faire le lien entre un mouvement ou une évolution, une représentation graphique et une description mathématique
Euréka !

La thermodynamique (force de la chaleur en 9ème)

Le but de cette période est de voir comment la chaleur va mettre en mouvement la matière et comment l'être humain a pu produire des machines pour lui permettre d'effectuer un travail (déplacement ou action).

La conscience de l'espace et du temps se trouve alors complètement modifiée au cours des deux derniers siècles, tant l'avènement de nos moyens de transport va permettre de se déplacer sur de grandes distances en des temps de plus en plus courts.

L'action de la chaleur est étudiée sur les trois états de la matière:

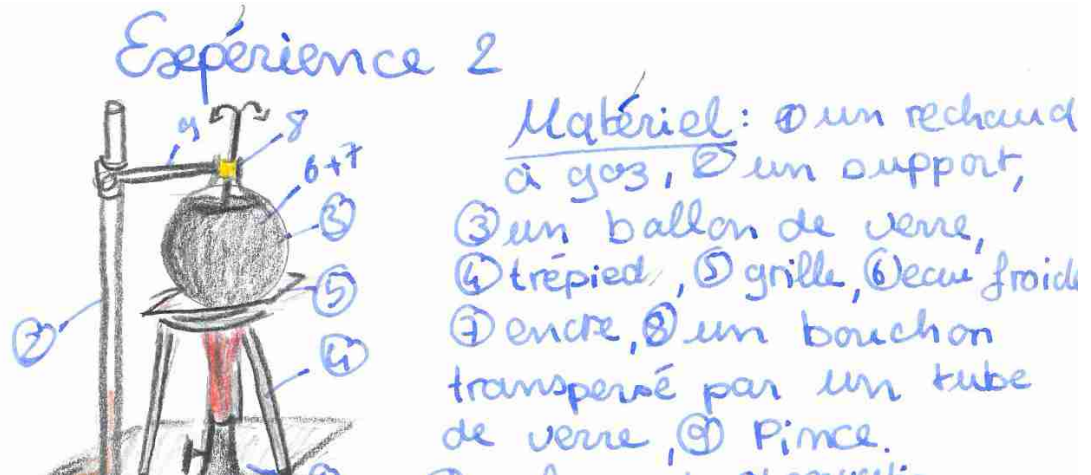
- Le **solide** qui est incompressible, peu ou pas soumis à l'évolution temporelle (à l'échelle humaine , un cristal est donc infiniment patient) et qui est séparé du reste du monde avec des limites spatiales.
- Le **liquide**, peu compressible, dont l'attitude intrinsèque est de « former une unité avec lui-même ». S' il n'est pas contenu dans un récipient solide, le liquide se répand et occupe la surface de la terre.
- Les **gaz** ont tendance a occuper tout l'espace qui est à leur disposition, ils sont très mobiles et compressibles.

Expérience du geyser

Déroulement :

On remplit à ras bord un ballon en verre avec un liquide coloré. On le bouche ensuite avec un bouchon percé prolongé d'un tube en verre long. On chauffe le ballon

Schéma :



Observations :

Le liquide monte dans le tube en verre jusqu'à déborder. Puis il s'écoule vers le bas le long du tube. Si l'on arrête de chauffer, le niveau supérieur du liquide redescend jusqu'à ce qu'il n'y est plus rien dans le tube.

Conclusion :

Lorsqu'on chauffe la matière, celle-ci a tendance à se dilater, mais la dilatation dans l'espace est très manifeste pour les gaz, un peu moins pour les liquides et presque indécélable à l'oeil nu pour le solide (il faut l'amplifier pour la mettre en évidence).

Applications :

La dilatation des liquides a permis l'invention du thermomètre qui mesure objectivement la température. Le mouvement d'un liquide (mercure puis alcool) à l'intérieur d'un tube en verre gradué en degrés permet de mesurer la température.

On peut introduire la **polarité** suivante :
(librement inspirée des propositions de J . Micol)

-Perte de chaleur : un mouvement d'hiver où la tendance est à une introspection (conscience rétractée vers soi-même, temps de veille diminuant avec le raccourcissement des jours et nature extérieurement figée).
Contraction, rigidité, séparation, individualisation, gravité, lien à la terre, pensée cristalline...

- Apport de chaleur :
Un mouvement d'été avec une conscience beaucoup plus tournée vers les autres et l'extérieur (les jours rallongent et la nature s'éveille).
Expansion, abandon de la forme, légèreté, périphérie, unité, mou, fusion, lien au cosmos, digestion...

Jürg Reinhard en parle en ces termes : « la chaleur descend du soleil sur la terre [...]. L'esprit se manifeste dans le sang en tant que chaleur active, [...] sous forme de sentiment d'amour. »

Il est alors intéressant de faire sentir aux adolescents qu' un amour éternellement fusionnel ne serait pas souhaitable (et à l'inverse une rétraction en soi trop prolongée peut -être dangereuse aussi).

La compréhension de la dilatation des gaz est à la base de l'invention du moteur (machine à vapeur de Newcomen, puis locomotive à vapeur et enfin moteur à explosion 2 et 4 temps et à réaction pour les avions).

Le but de cette période est donc de faire sentir aux élèves de la 9^{ème} classe, la puissance de toutes ces machines. En quelques heures, l'être humain est capable de se rendre à l'autre bout de la planète et même d'aller explorer la lune .
On peut mettre en parallèle par exemple que pour aller de Genève à Marseille à cheval, il fallait plusieurs jours, alors que maintenant un avion met moins d'une heure.

J'insiste beaucoup avec les élèves (sur les conseils de Steiner) sur le fait que comprendre le fonctionnement des technologies nous permet d'avoir de la reconnaissance par rapport à leur fonctionnement. (et pouvoir utiliser les moyens de transports actuels en ayant conscience de leurs fonctionnements permet de rester conscient et de ne pas devenir un automate dépendant)

Anecdote : Quand j'ai présenté une coupe de moteur deux temps aux élèves de la 9^{ème} classe pour leur en expliquer le fonctionnement, je détaillais l'explosion du mélange dans le cylindre tout en me disant que cela ne montrait pas le caractère explosif et violent de l'essence. Et juste à ce moment là, un des ballons de baudruche, accroché au plafond par les 11 èmes lors du cours principal précédent, a explosé faisant sursauter toute la classe !

Au cours de cette période de physique, il faut aussi introduire **la notion de vide** qui peut exercer une force de « rappel » (la nature ayant horreur du vide)
C'est la force polaire à toutes les forces d'explosion, de dilatation et d'expansion.

b) La cinématique terrestre en 10 ème

Cette période de cinématique (littéralement étude du mouvement) a pour but de décrire les mouvements des corps physiques sur la Terre ou dans le système solaire et de comprendre la loi de la gravitation.

On va donc parler de déplacement, d'inertie , de vitesse, d'accélération et de force. Dans la continuité de la période de la 9ème classe sur les machines, il est possible de commencer la période avec l'étude des équilibres de forces afin de comprendre l'équilibre des grues, des treuils et autres ponts en cages.

Les deux grands expérimentateurs à l'origine des théories de la cinématique sont G. Galilée (1564-1642) et I. Newton (1647-1727).

G. Galilée est un des premiers expérimentateurs scientifiques. Il réalise des expériences reproductibles et tente d'en tirer des lois mathématiques pour les décrire. Il est l'initiateur du concept de l'objectivité scientifique. « La nature est écrite en langage mathématique »

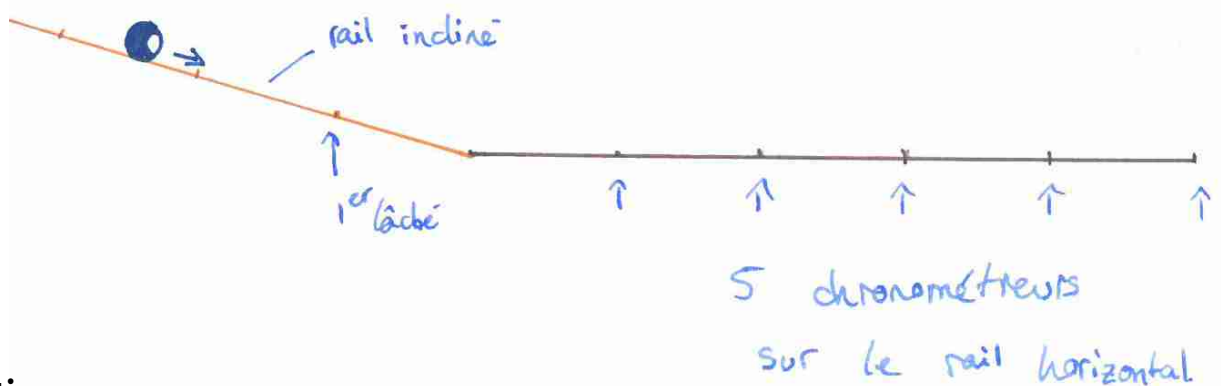
Newton s'inscrit dans la continuité même si beaucoup de ses conclusions, notamment sur la théorie de lumière sont largement discutables. La communauté scientifique a accepté ce modèle (et elle vénère Newton autant qu'Einstein) alors que Goethe et Steiner le remettent complètement en question. Pour ce qui est de la cinématique, il me paraît fondamental de remettre les lois de Newton, à leur juste place à savoir la description du monde matériel terrestre et des objets inanimés!

Expérience fondamentale de Galilée

Déroulement :

On fait lâcher une bille en haut d'un rail incliné prolongé par un autre rail horizontal (gradué en décimètres). Avec des chronomètres que l'on enclenche quand la bille arrive sur le rail horizontal, on mesure le temps que met la bille pour arriver à différents endroits du rail. On place dans un repère cartésien les points repérés par les coordonnées distance et temps. *A l'époque de Galilée, la mesure du temps se faisait avec des clepsydres à eau ou avec des clochettes qui sonnaient lors du passage de la bille.*

Schéma :



Observations :

Les points sur le graphique sont alignés. On entend que le son de la bille ne se modifie plus sur le rail horizontal. On voit que la bille a un mouvement « régulier »

Conclusion :

Cela signifie que la distance parcourue est proportionnelle au temps . Donc la vitesse (évolution de la distance par rapport au temps) est constante et l'accélération est nulle (évolution de la vitesse par rapport au temps). On parle alors de mouvement rectiligne uniforme.

Prolongement :

Galilée va aussi étudier la chute libre (à l'aide de son rail incliné sur lequel les mesures sont plus faciles) et trouver ainsi la valeur de l'accélération de tout corps en chute libre (sur la terre) . Il obtient ainsi une des premières lois de la physique quantifiable valable partout (à 1% près) sur la surface terrestre et la valeur qu'il

obtient expérimentalement est d'une grande précision malgré ses instruments rudimentaires.

1ère loi de Newton (loi de l'inertie) :

Newton va en déduire sa première loi : Tout corps se maintient en état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme, tant qu'il n'est pas contraint par une force extérieure à changer de mouvement.

Il est important de préciser avec les élèves que cette loi qui s'applique pour les objets n'est pas universelle. Dans son ouvrage « Au bout de la physique », Jürg Reinhard insiste sur le fait qu'il faudrait mettre cette loi en parallèle avec les lois qui s'exercent sur le végétal, l'animal et l'humain, faute de quoi, on pourrait penser que ce principe d'inertie s'applique à l'être humain et qu'il n'y a pas de liberté possible.

L'auteur résume sa pensée avec ce tableau :

	Minéral	Végétal	Animal	Homme
Action extérieure	Force mécanique	Nutriments, Chaleur ou lumière	Excitations Pulsions	Perceptions dans les 12 sens
Composante interne stable	Masse Inertie	Espèce	Instincts Âme groupe	Penser
Réponse	Modification du mouvement	Croissance dépérissement	Réaction instinctive	Action
Plan	Lois physiques	Morphologie	Comportement	Liberté/ Je

Si l'on considère alors la loi de Newton comme restant valide mais à replacer dans un contexte plus large, elle n'enfreint en rien la liberté humaine et comme le dit R.Steiner on peut alors la reformuler :

**« Tout corps qui ne peut de lui même modifier son mouvement est dit inerte »
Il faut donc un effort de pensée pour maintenir sa liberté et rester à un niveau humain.**

On peut ajouter à cela que cette première loi n'est valable que dans le vide car sur Terre les frottements ralentissent toujours le mouvement. De manière métaphorique, même avec un désir précis (rectiligne) , un élan de départ (vitesse initiale) et pas de forces extérieures contraires , il faut maintenir un certain effort pour conserver son élan de départ et arriver au but fixé par son désir.

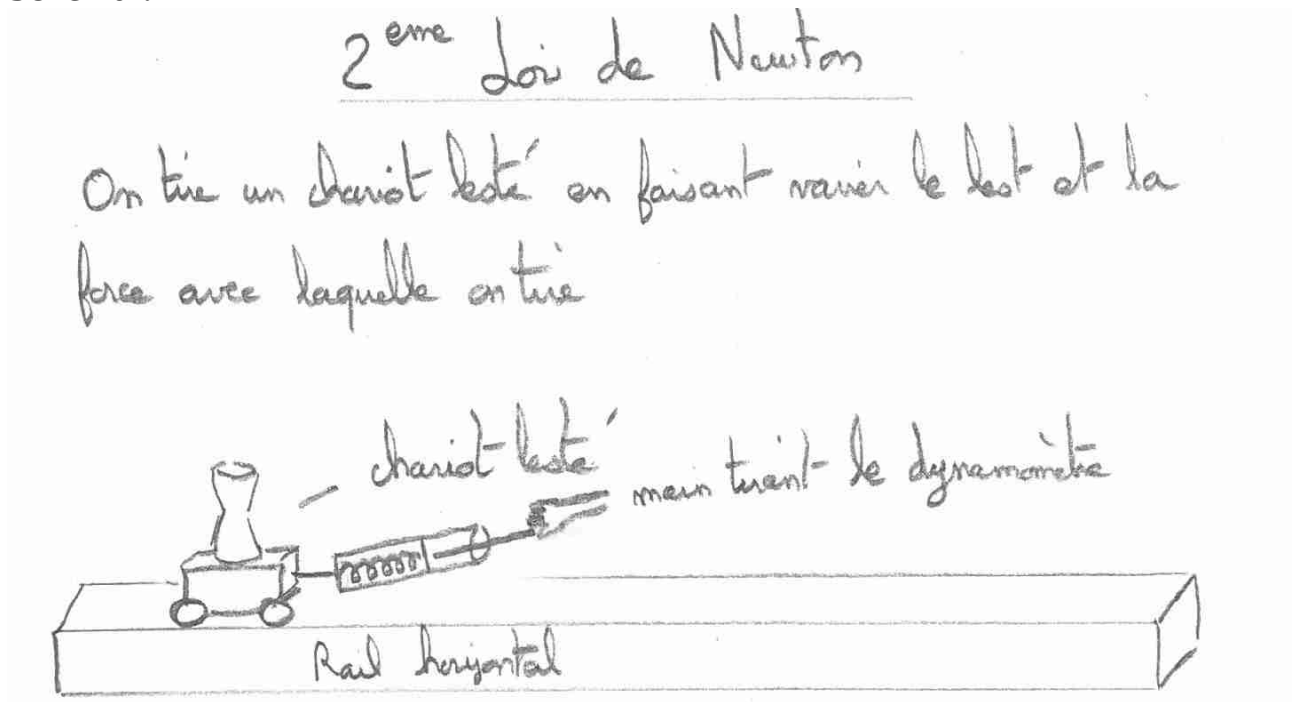
En plus, cela nous permet de sentir que la notion de distance est intimement subjective. Pour l'être humain on pourrait la décrire en tant que distance d'écoute (sens de l'ouïe), en tant que distance de proximité agréable ou désagréable (à partir du sens du moi d'autrui)...

La deuxième loi de Newton (principe fondamental de la dynamique)

Déroulement :

Sur un rail horizontal, on tire avec un dynamomètre (ressort étalonné qui permet de mesurer la force de traction) un chariot initialement immobile que l'on peut lester avec différentes masses.

Schéma :



Observations :

Plus la force de traction est grande et plus le chariot accélère.
Plus le lest augmente (avec une force identique) et plus l'accélération est faible

Conclusion :

L'accélération (ou décélération) d'un objet est proportionnelle à la force de traction (ou de freinage) et inversement proportionnelle à la masse inerte de l'objet .
De manière imagée, je présente cette loi aux élèves de 9ème classe en disant que

l'accélération vers mon but est proportionnelle à mes efforts (force de traction) et inversement proportionnelle à mon inertie.

Prolongation :

Cette loi est à replacer encore une fois dans le contexte du monde inanimé mais elle est intéressante dans la mesure où les forces que ressent l'être humain (au volant d'une voiture par exemple) sont essentiellement liées à l'accélération. Nous ne percevons donc que l'évolution de la vitesse. Steiner dit : « Le temps en tant que tel est quelque chose que nous abstrayons des phénomènes. C'est vraiment une abstraction obtenue à partir des phénomènes. Parmi ce que nous avons présent devant nous **seule la vitesse est une réalité** » (La quatrième dimension, R.Steiner)

Les élèves de 12 ème me disaient d'ailleurs cette année, : « On a l'impression que le temps s'accélère au fur et à mesure que l'on grandit ». Einstein le disait en ces termes : « Passez cinq minutes main dans la main avec votre amoureuse ou passez cinq minutes assis sur un poêle brûlant, c'est la relativité! »

La troisième loi de Newton (principe de l'action et de la réaction)

Déroulement :

Une possibilité pour illustrer cette loi est de demander à un élève de monter sur un skateboard (planche à roulettes, en français dans le texte) et de pousser sur le tableau mural.

Observations :

L'élève va s'éloigner du tableau avec une accélération proportionnelle à sa force de poussée (anecdote : mon tuteur m'a raconté que la première fois qu'il a fait faire l'expérience, l'élève a poussé trop fort et a été éjecté violemment du skateboard)

Conclusion :

Tout corps exerçant une force sur un autre corps subit une force exactement opposée.

Prolongation :

Cela permet de comprendre comment quand l'air exerce une pression vers le bas sur la partie supérieure d'une aile d'avion, celui-ci va décoller en exerçant une

pression vers le haut pour « compenser ». (une expérience intermédiaire consistant à plonger une cuillère sous le jet d'eau du robinet, celle-ci est alors attirée par le flux vertical d'eau).

Là encore, cette loi ne s'applique qu'au monde inanimé, mais l'on peut se dire que les animaux est encore largement assujettie à cette loi. En effet, leur réaction à toute modification de leur environnement est une réaction instinctive liée au comportement innée de l'âme groupe auquel ils appartiennent.

Il me paraît légitime de questionner alors les élèves pour savoir dans quelle mesure, en tant qu'être humain, nous sommes assujettis aussi à cette loi, et à quel point et comment nous pouvons nous en extraire. Et selon moi, seule notre conscience individuelle et notre capacité de penser avant de réagir, peuvent permettre d'agir dans le monde à partir d'une impulsion créative et assumée.

J'évoque alors aussi la loi du karma de la tradition indienne qui stipule que toutes nos pensées, tous nos sentiments et toutes nos actions auront une conséquence (réaction) matérialisée ou non et visible ou pas. Cette loi peut nous amener à une véritable responsabilisation (et pas culpabilisation!) fondée sur une loi spirituelle.

c) La cinématique dans le système solaire.

La loi de la gravitation universelle.

Cette loi, énoncée par Newton (à partir d'une intuition splendide!), stipule que deux corps s'attirent avec une force centripète proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle à la distance qui les sépare au carré.

Application :

Elle permet de sentir pourquoi nous sommes relié à la Terre par cette force de gravitation. Il est intéressant aussi de mesurer cette force sur la Terre et sur d'autres planètes. Les élèves peuvent alors penser que sur la Lune, ils pourraient tous battre les records du monde de saut en hauteur et en longueur. Alors qu'au contraire sur des planètes plus « denses », nous serions écrabouillés.

Une question naît souvent alors de la bouche des élèves : « Pourquoi la lune ne tombe sur la terre à cause de cette force d'attraction » ? On peut alors montrer **la force centrifuge** (en faisant des lancers de poids accrochés au bout d'un ficelle que l'on fait tourner autour de soi, par exemple) qui s'exerce sur un objet en rotation autour

d'un autre.

Grand est leur émerveillement quand les élèves se rendent compte que pour chaque planète en rotation autour de soleil, les deux forces centrifuges et centripètes se compensent exactement de manière à ce que les planètes ne viennent ni s'écraser sur le soleil, ni s'en éloigner indéfiniment. Et en plus, toutes les planètes se trouvent presque sur un même plan, appelé plan de l'écliptique.

Pour moi, c'est le premier moment en physique, où l'on peut ressentir un grand ordonnancement de notre système solaire (et sans doute au delà). De là, à parler du "grand architecte", il n'y a plus qu'un pas...

Il faudrait aussi envisager de parler des forces de **lévité** (comme contre-poids des forces de gravité) qui s'exercent sur l'être humain.(et sur la plante)

Dans la tradition indienne, on peut le sentir comme l'effet du chakra coronal situé au sommet de la tête et qui nous tire vers le haut. Jürg Reinhard en parle en ces termes :

« La lévité est l'aspiration de l'esprit s'exerçant sur les âmes présentes dans l'espace et le temps. L'esprit ré inspire le matière. Ceci se produit dans les centres des galaxies, du Soleil et de la Terre »

Cela reste bien mystérieux (et surtout difficilement explicable aux élèves) mais l'on peut bien sentir que nous ne portons pas réellement notre poids (sauf si l'on avance le buste plié et la tête dans les genoux). Steiner disait que pour sentir vraiment ce que c'est que porter son propre poids, il faudrait porter quelqu'un de son poids sur ses épaules...

En tous cas, on peut évoquer cela avec les élèves et j'aime bien imaginer le Soleil comme à la fois responsable d'une intense force centripète qui voudrait tout attirer à lui et aussi comme le grand émetteur de lumière à partir de forces centrifuges. On peut aussi penser ces forces en terme d'incarnation et d'excarnation

Prolongation :

Cette période de physique peut aussi permettre d'étudier les mouvements de projectiles du type boulet de canon ou comète arrivant avec une certaine vitesse puis dont le mouvement s'incurve vers le centre de la terre. (on peut aussi penser au fameux jet d'eau sur le lac Léman quand il y a un peu de vent). Cette étude permet un bilan des concepts de force, de gravité et d'utilisation du plan cartésien.

Ces trajectoires qui décrivent des paraboles peuvent être décrites dans le plan cartésien et on peut ainsi prévoir avec exactitude la trajectoire. Ce qui est intéressant

est de penser que les Anciens (avant que Galilée ne s'en mêle) pensaient que la trajectoire était une ligne droite tant que l'objet avait de la vitesse puis une autre ligne droite verticale correspondant à la chute libre. Galilée montra qu'il n'en était rien. La trajectoire est courbe et la décélération est continue (ce qui permet d'introduire ce concept de continuité fondamental en phénoménologie des sciences).

On peut aussi parler des paraboles (de la Bible, par exemple) qui sont des manières détournées (sous forme allusives) d'aller vers un but sans prendre le chemin le plus court de la ligne droite (loi énoncée explicitement). Par exemple, la parabole du fils prodige qui peut-être illustré par un schéma sous forme de ... parabole justement où la partie de gauche est la descente aux enfers en dilapidant l'héritage familial jusqu'à aller manger les caroubes avec les cochons puis la remontée à droite pour retrouver le chemin du retour qui ramène à la maison (le ciel antérieur de la tradition chinoise).

3) Appréhender l'invisible et les infinis

a) Découverte de l'infini et de l'électromagnétisme

En mathématiques, la onzième classe permet l'introduction des suites de nombres qui vont nous permettre de penser des tendances évolutives à l'infini. En physique, la période d'électromagnétisme va nous permettre de penser l'invisible et l'infiniment petit.

Suites illimitées :

Introduction: On peut partir de l'énigme suivante :

Un jour, un roi très riche voulut faire un cadeau à sa nouvelle épouse. Elle lui confia alors qu'elle était peu intéressée par les richesses du monde et lui proposa de mettre un grain de riz sur la première case de son échiquier, puis deux sur la 2ème, 4 sur la 3ème... le roi accepta pensant faire un cadeau très raisonnable et se mit à pleurer au fur et à mesure qu'il remplissait l'échiquier. Pourquoi ?

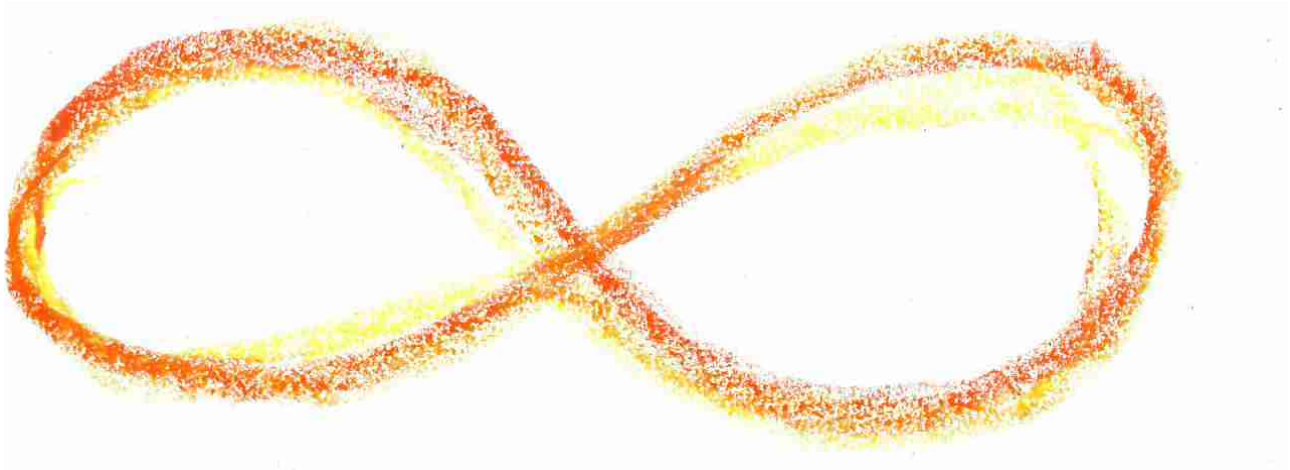
On voit que le nombre de grain de riz sur la n ème case est égal à 2^n et que ce nombre devient rapidement très grand . Le jeu d'échecs a 64 cases et 2^{64} est un nombre à 20 chiffres soit des milliers de milliards de milliards de milliards ! Toutes les provisions du royaume ne suffiraient pas à pourvoir aux désirs de la reine.

Concept de l'infini:

On peut donc ainsi introduire des suites $S(n)$ qui dépendent d'un nombre n et dont on va chercher la limite quand n devient très grand (pour éviter de se faire surprendre par exemple). On dit que l'on va chercher la limite de la suite quand n tend vers l'infini .

Le symbole pour représenter l'infini, ∞ , a été inventé par le mathématicien J. Wallis en 1655. On peut y voir une représentation de la lemniscate de Bernoulli ou le ruban de Moëbius vu de profil (pour l'obtenir en 3D, il suffit de découper une bande de papier et d'attacher ses deux bouts après avoir "inversé" les deux faces de l'un des bouts).

Ce signe est obtenu dans un mouvement continu et infini (puisque la forme boucle sur elle même) que l'on peut faire en dessin de formes (on peut même le faire à deux) :



Tout l'enjeu est alors de pouvoir penser ce qui se passe au delà de ce qu'on peut calculer et observer en utilisant ce concept de limite.

Par exemple la suite définie par $S(n) = 1/n$

qui vaut 1 puis 0,5 puis 0,33... puis 0,25 puis 0,2 puis 0,166 ... vaut 0,001 si n vaut mille puis 0,000 000 1 si n vaut un million.

On sent que cette suite va tendre vers 0.

Prolongation :

On peut alors comparer des infinis, et observer que la suite des nombres au cube tend plus vite vers l'infini que la suite des carrés ...

Ce qui est intéressant, c'est de pouvoir penser l'invisible et l'impalpable. En ce sens, cette période est une excellente introduction à la géométrie projective ainsi qu'aux périodes de physique qui vont suivre, à savoir l'électricité et le calcul infinitésimal.

Électromagnétisme

L'électricité a ceci de particulier que l'on peut en mesurer ses effets mais qu'elle demeure invisible et que ses causes sont bien mystérieuses.

Voici l'**introduction** de cette période que j'ai proposée aux élèves:

Depuis l'utilisation des poissons torpilles à des fins thérapeutiques, jusqu'à l'accélérateur de particules du CERN, l'être humain est de plus en plus fasciné par l'électricité et ses applications (électronique, ordinateurs, portables...)

Après avoir maîtrisé la mécanique pour économiser ses forces et réaliser des

travaux dépassant la seule force humaine, l'être humain a développé des machines capables de "penser", interpréter et transmettre. On voit ainsi apparaître sous forme matérialisée, la manifestation de la pensée issue de l'âme de conscience.

L'objectif de cette période est de conscientiser cette énergie issue de la sous nature (voir : *nature et sous nature, extrait de : Les lignes directrices de l'anthroposophie (GA 26) en annexe*) afin de pouvoir devenir des usagers conscients, respectueux et attentifs.

La période commence avec des expériences d'**électrostatique** au cours desquelles on observe l'apparition d'étincelles, les décharges sous formes de "châtaignes" et la force électrostatique qui peut "coller" au plafond un ballon préalablement frotté sur un pull.

La seule perception humaine de l'électricité se présente sous la forme de contraction musculaire. (si on met sa langue sur une pile chargée, cela picote). Cette période d'électricité est à mettre en parallèle avec l'activité électrique dans le cerveau et dans les nerfs. Les élèves aiment bien penser aussi qu'au delà d'une certaine intensité (c'est à dire trop d'électricité reçus en un temps très court), le corps humain peut être paralysé ou le cœur se contracter puis s'arrêter de battre.

La première chose qui apparaît au cours de cette période est le fait que pour obtenir de l'électricité, il faut **une tension**. (c'est à dire un état déséquilibré de la matière qui voudrait retrouver un équilibre)

Les premières centrales électriques étaient de grands hangars où l'on plaçait des cuves d'acide dans lesquelles étaient plongées des électrodes métalliques. L'acide va alors attaquer une des électrodes produisant ainsi de l'électricité. Si l'on produit l'électricité à l'aide de barrages hydrauliques, c'est l'eau retenue dans le barrage qui est sous tension puisqu'elle voudrait pouvoir s'écouler. Si l'on utilise une centrale nucléaire, on va utiliser des produits radioactifs, c'est à dire qui ont tendance à émettre des rayons pour revenir à un état de stabilité, et ce afin de désintégrer des noyaux...

Il est intéressant de **comparer la lumière et l'électricité** pour mettre en parallèle leurs comportements. On peut penser à cette perspective puisque dans l'œil humain, la lumière est transformée en électricité afin d'être traitée par le cerveau et aussi puisque qu'une des principales utilisations de l'électricité est de nous fournir de la lumière artificielle.

La lumière vit dans l'air et crée l'espace en faisant apparaître les surfaces. Elle est radiale, elle est envoyée vers la périphérie depuis le soleil.

L'électricité vit à l'intérieur des métaux sous la couche superficielle et également sous la couche de l'atmosphère terrestre. Elle cherche toujours à revenir à la Terre. La tension engendre l'électricité et elle anihile les distances et le temps (on peut la transporter sur de très grandes distances en un temps très court).

On peut ainsi percevoir l'électricité comme de la **lumière condensée** (Jürg Reinhard). L'aboutissement de ce processus est le laser où la lumière compressée en un faisceau très fin, va devenir très puissante.

Steiner parle de l'électricité et du magnétisme comme étant issus de la sous matière. Les deux phénomènes sont reliés par le mouvement: un courant électrique passant dans un fil va dévier l'aiguille d'une boussole et un aimant en mouvement permet d'induire de l'électricité dans une bobine (enroulement de fil autour d'un cylindre).

Il y a deux manières de produire de l'électricité, l'une en courant continu avec une pile ou une batterie par exemple, l'autre avec un alternateur utilisant le mouvement d'un aimant à l'intérieur d'une bobine (technique inventée par N. Tesla, qui finira par s'imposer difficilement au début du 20ème siècle). Le courant industriel est maintenant produit grâce à des alternateurs et il est alternatif c'est à dire qu'il change de sens à une certaine fréquence (50 Hz, c'est à dire 50 fois par seconde en France). Ce qui est intéressant c'est que l'on ne voit pas une ampoule s'allumer et s'éteindre 50 fois par seconde (on voit parfois la fréquence des néons quand ils sont défectueux)

On parle alors **d'oscillations électriques**.

Il y a deux éléments fondamentaux dans les circuits électriques (qui peuvent être miniaturisés en électronique), ce sont **les bobines et les condensateurs**. Une bobine est fondamentalement réactionnaire, elle s'oppose aux changements de direction du courant (et donc du champ magnétique), surtout si l'on a placé un noyau de fer doux à l'intérieur.

Un condensateur (deux plaques de métal séparées un isolant) a l'effet inverse, il garde la charge électrique et la "renvoie" à chaque changement de direction, augmentant ainsi la fréquence du phénomène.

Quand on associe les deux dans un circuit, la fréquence des oscillations va dépendre de la "force" de la bobine et du condensateur. On peut ainsi régler de manière très précise la fréquence des oscillations. Ceci nous permet de créer des métronomes électroniques ou la synchronisation des processeurs d'ordinateur. Le découpage du temps ainsi effectué nous permet d'obtenir une précision de l'ordre du milliardième de seconde.

La découverte fondamentale de H. Hertz en 1880 fût la découverte des **champs**

électromagnétiques qui se propagent à travers l'air et sur de très grandes distance. Ce phénomène est à l'origine de la création de la radio. Le wi-fi et nos portables qui sont des applications utilisant le même principe, ont des fréquences autour de 2Ghz (2 milliards d'oscillations par seconde).

Petite anecdote probante: afin de protester contre les lignes à haute tension, des protestataires ont fait l'expérience de se tenir avec un tube néon dans la main, la nuit, sous la ligne électrique. Le néon s'allume alors fonctionnant comme un récepteur radio. (Jean Pierre Lentin) (Voir compte-rendu d'élèves en annexe)

Conclusion :

Au fur et à mesure que l'être humain utilise (via l'électronique) des phénomènes ayant une fréquence très élevée (donc une durée très courte) permettant ainsi la communication instantanée à distance (portable, internet...), il est intéressant de mettre en parallèle les phénomènes périodiques ayant une durée beaucoup plus longue. (voir échelle des durées en annexe)

Si l'on place la seconde comme référence car étant plus ou moins égale à une pulsation cardiaque, l'espérance d'une vie humaine est de l'ordre d'un milliard de secondes (à mettre en symétrie avec les ondes portables), un intervalle entre deux incarnations humaines est de l'ordre de mille fois plus et la durée de vie de la Terre (selon Steiner) est de l'ordre du milliard de milliard de secondes (à mettre en relation avec la fréquence de la lumière la plus rapide, les ultra-violets)

Cette mise en perspective me paraît fondamentale pour ne pas plonger dans la frénésie de la communication instantanée et pour replacer notre recherche de l'infiniment petit dans une évolution de l'humanité à une échelle beaucoup plus grande et infiniment patiente.

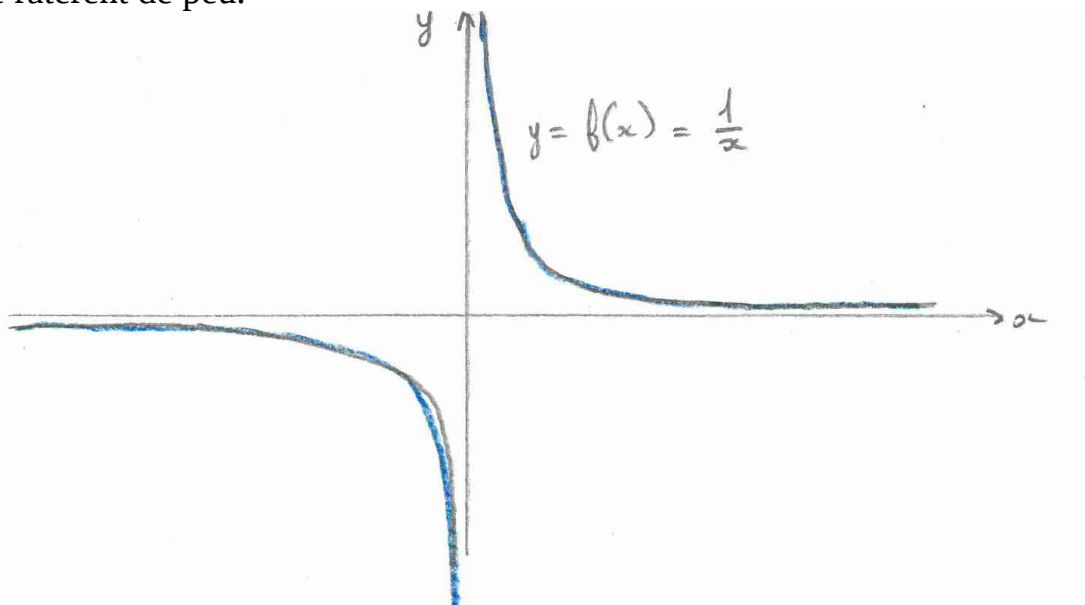
c) Le calcul infinitésimal et la géométrie projective

Après avoir introduit la notion de limite en 11 ème classe, nous étudions les fonctions de références en nous intéressant à leurs limites, leurs évolutions et leurs domaines de définition. (voir poème en annexe)

La première tâche que je propose aux élèves, après avoir tracé les fonctions de référence au tableau, est d'en décrire une (sans utiliser de termes mathématiques) puis de nous la faire deviner. Les descriptions sont toujours vivantes. J'ai proposé ce jeu en collège pédagogique et une de mes collègues a écrit ceci :

« Elles ont tenté de se rapprocher l'une vers l'autre,
L'une venait du Nord et rêvait de soleil,
L'autre venait d'Afrique et fuyait l'enfer.
Mais les vents étaient contraires,

Le Nord fila vers l'Est,
Le Sud arriva vers l'Ouest
Ils se ratèrent de peu.



L'évolution des fonctions peut être vue graphiquement à partir de leurs 'pentes'. On peut imaginer un petit vélo se déplaçant sur la courbe (de gauche à droite). Lorsque la pente est fortement descendante, le vélo se déplace sans efforts (on pourrait même parler d'efforts négatifs qui rechargent la batterie d'un vélo électrique) . Inversement, lorsque la pente est ascendante, le cycliste doit fournir un effort proportionnel à la pente.

Autrement dit quand une fonction diminue, sa pente est négative et quand une fonction augmente sa pente est positive. On va alors introduire la notion de dérivée qui permet à l'aide du calcul infinitésimal de calculer la pente d'une courbe. On peut alors décrire l'évolution des fonctions à partir de la dérivée qui traduit finalement une vitesse de croissance ou de décroissance.

Le concept de dérivée permet alors de relier mathématiquement un mouvement concret dans l'espace et le temps. Le même procédé permet d'obtenir l'accélération comme dérivée de la vitesse.

En prolongement, on peut définir l'intégrale comme le processus exactement inverse de la dérivée. D'une certaine manière, on a alors les clés pour décrire le mouvement des objets inanimés en connaissant les forces qui s'exercent sur lui. En effet, d'après les lois de Newton, accélération et forces sont reliées. Avec l'utilisation de l'intégrale, on peut alors retrouver toutes les lois du mouvement, c'est une **synthèse** sur les objets inertes.

Toujours au même âge, pour l'évolution du monde animal et du règne humain, la période d'embryologie vient détailler le processus évolutif de la cellule et de son développement. Et pour finir, la période de géologie détaille les ères géologiques anciennes.

Il ne manque peut-être vraiment qu'une perspective spirituelle sur l'évolution de l'homme et de la Terre au cours des temps pour vraiment obtenir un tableau complet de la situation d'incarnation terrestre.

La période de géométrie projective peut alors être vue à la fois comme une récapitulation de la géométrie et aussi comme une perspective en mouvement.

Géométrie projective

La grande aventure de la géométrie projective est de penser des objets géométriques bien connus sous formes de concepts purs ou idéaux et ce afin de penser au delà de la représentation l'infiniment petit et proche et l'infiniment lointain et grand. Il est intéressant de présenter l'enseignement de la géométrie projective comme un prolongement englobant la géométrie euclidienne et permettant de penser la géométrie en mouvement (en englobant la périphérie et le centre).

Un exercice fondamental consiste donc à penser la rétractation d'une sphère à l'infini (jusqu'à la voir disparaître). A la place de la sphère, il ne reste alors qu'un point sans dimension, un concept pur, car la représentation d'un point à la pointe de la craie est en fait toujours fait de plusieurs points. On peut ensuite penser une droite comme un déplacement à partir d'un point dans une direction maintenue sans jamais dévier (avec deux sens de parcours possibles) jusqu'à l'infini... Et il nous reste à penser le plan comme un ensemble de points ou de droites ou la dilatation d'un disque à l'infini.

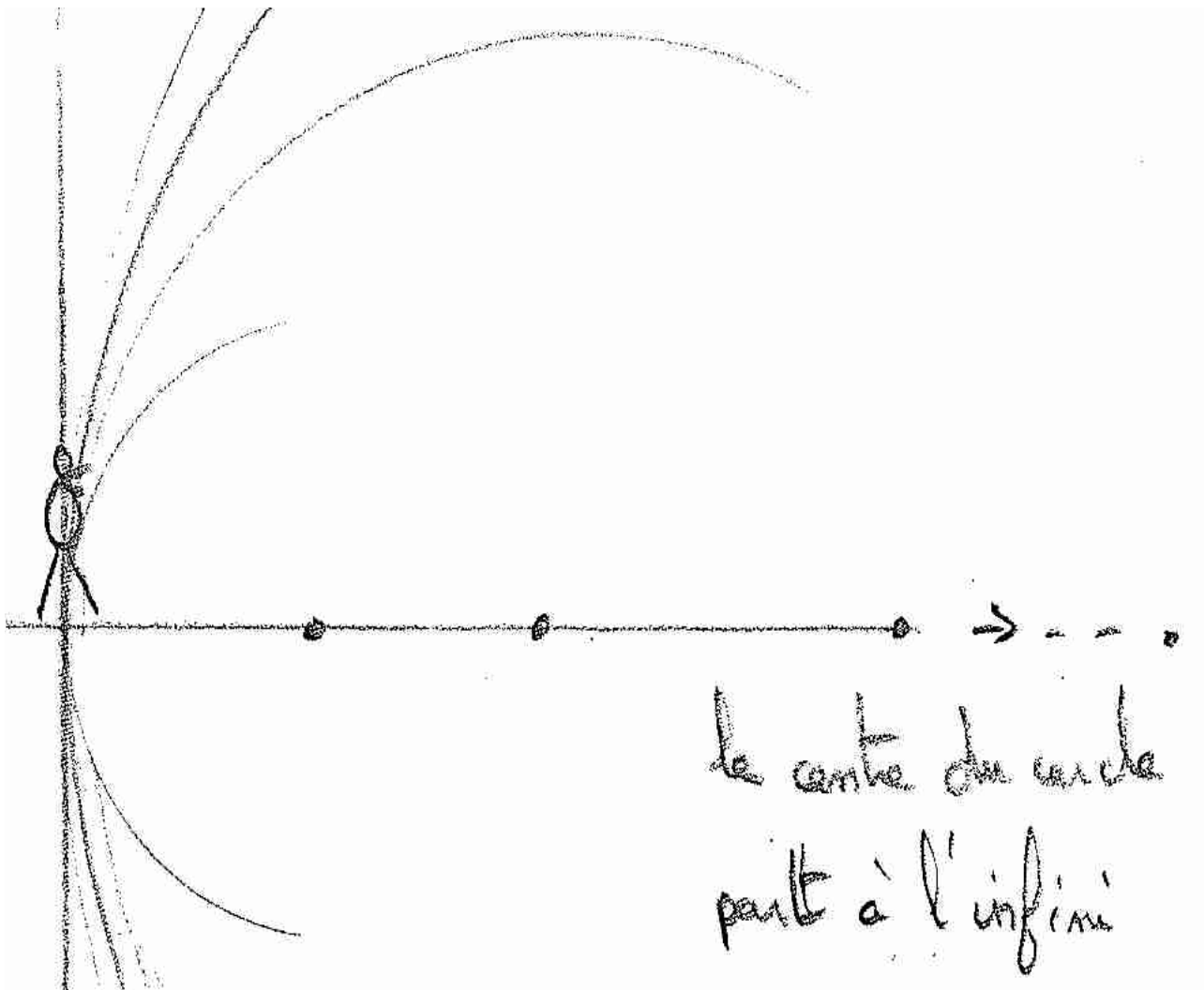
Quand je pratique ces exercices avec les élèves en essayant d'aller jusqu'au bout de nos représentations, (par delà les murs, la ville, les montagnes, l'atmosphère, le système solaire...), j'ai vraiment l'impression que l'espace de la classe s'ouvre.

Un de mes collègues, parmi les plus anciens de l'école, a utilisé ces mots : « C'est cosmique » pour qualifier la courte présentation de ma période que j'avais fait au collège pédagogique.

Tous ces exercices posent rapidement la question de la limite de ces concepts .Où et comment finit la droite ? Le plan ? On peut alors proposer l'exercice suivant : imaginez un disque placé devant soit dont le centre s'éloigne à l'infini sur une droite.

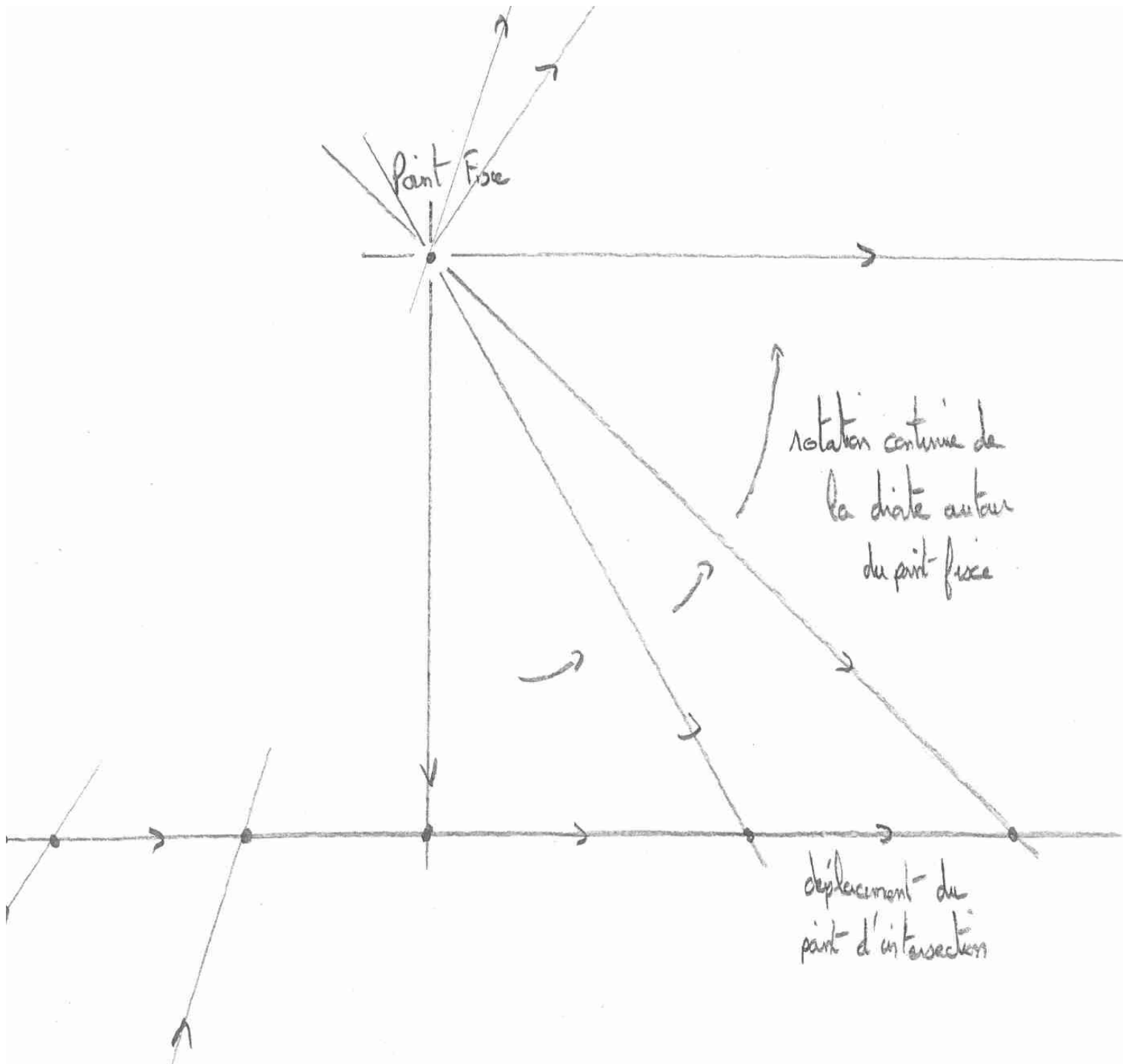
Schéma :

Du point de vue de l'observateur, la limite du cercle devient une droite. (**la limite du plan en 2 dimensions parcouru par le disque est une droite uni-dimensionnelle**)



On peut aussi penser à **la limite de la droite** en imaginant une droite tournant autour d'un point fixe de manière continue et ayant un point d'intersection avec une droite horizontale fixe.

Schéma:



Quand les deux droites deviennent parallèles, **le point d'intersection des deux droites est à l'infini** (on peut aussi parler de point idéal ou dire que le point

d'intersection est alors leur direction commune). Et ce point idéal est le même à gauche et à droite, il est atteint en même temps.

D'un point de vue métaphorique, on pourrait dire que deux points sur des trajectoires parallèles (donc partageant la même direction, le même désir) ont en commun un point invisible idéal.

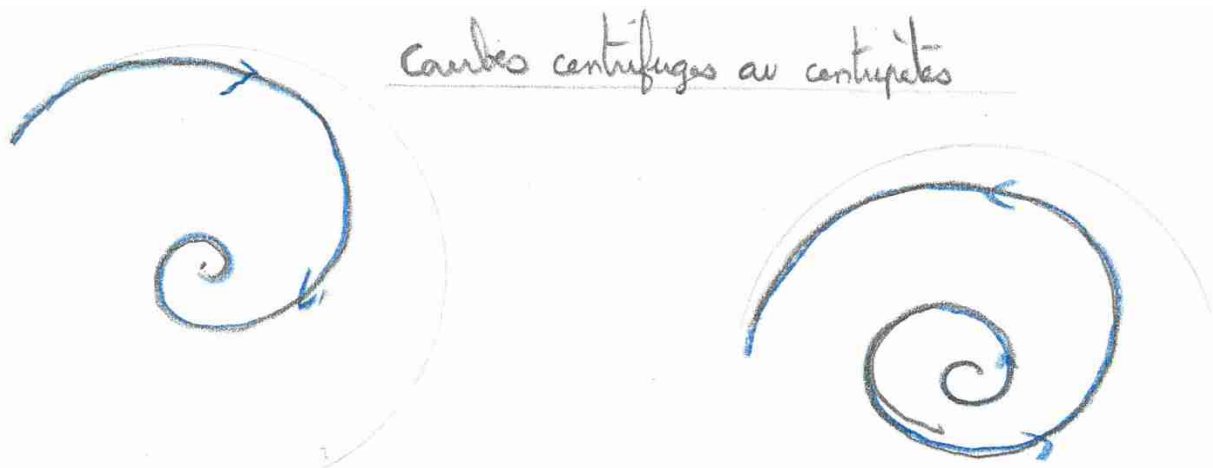
Cet exercice met les élèves (et moi aussi d'ailleurs, parfois encore) devant la limite de ce que je peux me représenter. Mais la première fois que j'ai accepté ce concept, j'ai réalisé que penser ce qui s'était passé avant ma naissance était du même ordre que de penser ce qui se passera après ma mort (c'est au même endroit dans l'univers de ma pensée et à l'infini pour ma conscience biographique de cette vie là !)

Les réactions des élèves vont d'un grand refus, en passant par un trouble intense qui dure plusieurs jours, jusqu'à l'acceptation intellectuelle qui ne change fondamentalement rien.

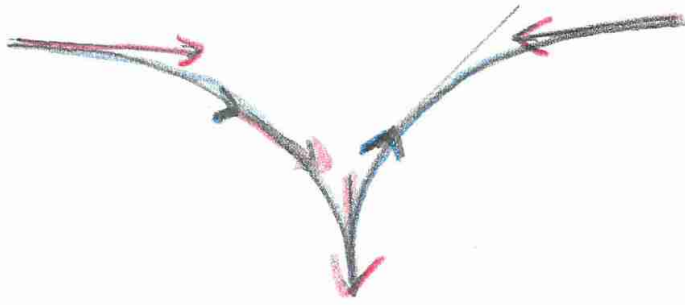
Blaise Pascal écrivait dans *Les Pensées*: « on se croit naturellement bien plus capable d'arriver au centre des choses que d'embrasser leurs circonférences. Nous nous croyons plus capables de les posséder et cependant, il ne faut pas moins de capacité pour aller jusqu'au néant que pour aller jusqu'au tout. Il la faut infinie pour l'un et pour l'autre. [...] Ces extrémités se touchent et se réunissent à force de s'être éloignées et se retrouvent en Dieu et en dieu seulement ».

Une fois que les concepts de points et de droites sont bien ancrés, on peut alors décrire le parcours d'une courbe en imaginant une fourmi se déplaçant sur le tableau et pouvant à tous moments choisir à la fois sa vitesse dans une direction donnée (avec possibilité de marcher en arrière et de s'arrêter) et la vitesse de rotation de la direction de la droite qui montre la direction (qui peut tourner dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens l'inverse).

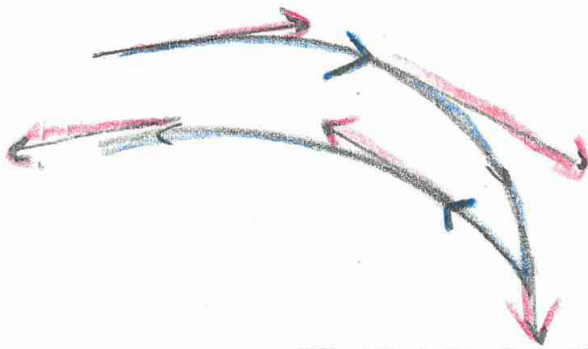
Il est possible de décrire toutes les courbes avec la vitesse du point et la vitesse de rotation de la droite, On obtient alors quatre courbes fondamentales qui permettent de décrire toutes les courbes fermées (c'est à dire se repliant sur elle-même) :



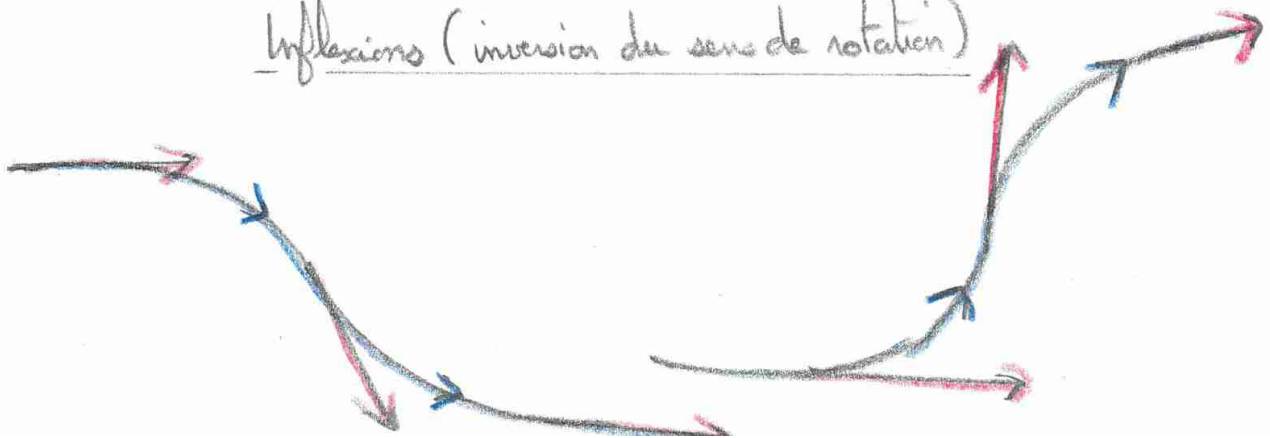
Épine (inversion du sens de déplacement)



Becs (inversions du sens de rotation et de déplacement)



Inflexions (inversion du sens de rotation)



En mettant en parallèle, le fait que deux droites ont un seul point en commun et que deux points ont une seule droite en commun, on peut sentir que les droites et les points ont des comportements polaires dans le plan. Reste alors à se demander quelles seraient les courbes polaires de ces quatre courbes (c'est à dire en inversant la vitesse du point et la vitesse de rotation de la courbe) :

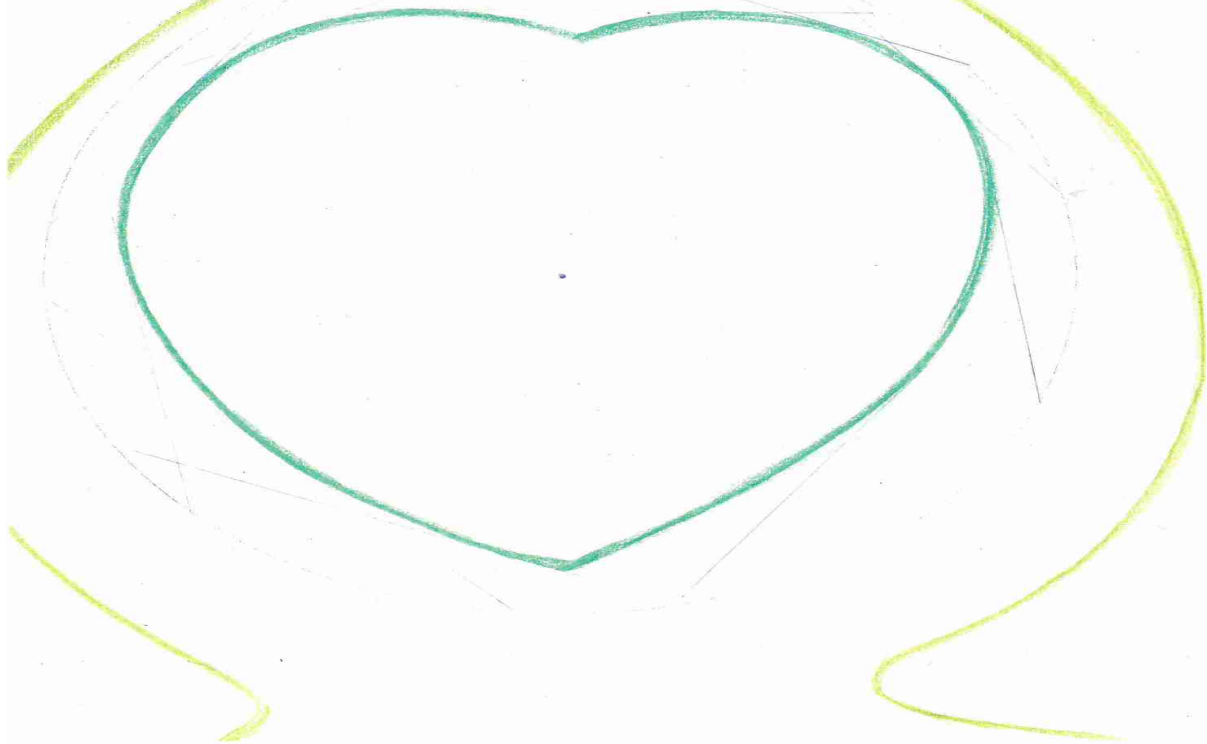
- La polaire d'une courbe centrifuge est centripète.
- La polaire d'une inflexion est une épine (et inversement)
- La polaire d'un bec est un bec

Nous en arrivons ainsi à pouvoir construire les courbes polaires de n'importe quelle courbe et concevoir ainsi la notion d'espace et de contre espace, ce qui fera dire à Georges Adams qui pense en 3 dimensions: «De nombreuses formes organiques se prêteront à des explications beaucoup plus profondes si nous nous pénétrons de cette vérité que l'espace en tant que tel tire son origine non seulement du point mais aussi du plan (*de la droite* , si l'on est en 2 dimensions) qu'il n'est pas seulement construit vers l'extérieur et extensivement comme depuis un point de départ physique mais aussi intensivement, vers l'intérieur à partir de l'étherique et du céleste.

Et cette conception pourrait expliquer pourquoi la sève des arbres monte à trente mètres de haut pour certains chênes, défiant les forces de gravitation et les explications scientifiques modernes s'appuyant sur la capillarité. Et en pensant encore au delà, on pourrait se dire que tout ce qui est manifesté dans l'espace terrestre a peut-être une origine dans le contre espace céleste (libre interprétation personnelle mais certains élèves partagent le même avis que moi !). Comme le dit si bien J.W. von Goethe : «le Beau est une manifestation des lois secrètes de la nature qui, s'il n'avait vu le jour, seraient restées secrètement cachées ».

On peut alors choisir une courbe aux allures embryonnaires (en bleu) pour se demander ce qu'elle devient dans le contre espace. (en vert pâle)

LA GÉOMETRIE PROJECTIVE



Conclusion et perspectives

Toutes ces périodes de sciences sont centrées sur la période post-renaissance (début de l'âme de conscience, selon Steiner). Il est intéressant de les replacer dans une évolution plus longue de la conscience (sur des milliers d'années vers l'avenir, par exemple) afin de relativiser les avancées « révolutionnaires » de nos technologies modernes.

Les élèves sentent bien que « Science sans conscience n'est que ruine de l'âme » (Rabelais) et qu'une science réellement éthique, écologique et équitable n'est pour l'instant qu'à l'état embryonnaire. Certains ont pourtant montré la voie, à l'image de Tesla qui parlait d'énergie libre et de machines utilisant la conscience humaine. Mais notre conscience humaine terrestre semble encore bien loin de cette étape là.

Donc, selon moi, la seule façon d'envisager cette destruction frénétique de la nature (et des êtres humains qui vivent sur cette planète) sans être catastrophé (et sans penser que la science est fondamentalement dangereuse ou inutile!) passe par une prise en compte des cycles du temps sur des milliers d'années, de l'évolution du système solaire à travers les temps et des mouvements de conscience associés à ces changements .

Ce poème illustre bien mon propos :

L'être se relie à l'être dans l'espace.
L'être se succède à l'être dans le Temps.

Si tu en restes à l'espace et au Temps,
Tu es , oh homme, livré au transitoire.

Mais ton âme d'un bond s'en affranchit.
Quand par pressentiment ou science, elle contemple,
Par delà les espaces et au delà des temps,

Ce qui est éternel. (R. Steiner)

Vu du point de vue des 12 sens, on peut se dire que la science moderne utilise principalement la vue et l'ouïe. Nous venons d'apercevoir que le sens du mouvement (ou celui de l'équilibre) nous permet d'appréhender au mieux les phénomènes physiques. On pourrait aussi entrevoir d'autres concepts pour mesurer le temps, la chaleur et l'espace ou la lumière : La patience, la chaleur du cœur, le ressenti à distance, le sens de la vie...

Et, comme le dit Steiner, toutes les lois que l'on étudie dans notre système solaire ne sont pas forcément valables ailleurs (et les forces de lévité présentes au sein de la Terre et du Soleil sont encore loin d'être comprises). Et peut-être faut-il dépasser la perception des 12 sens pour entrevoir ce qui se passe au delà:

« La distance entre les étoiles devraient être entrevue en terme de distance karmique, l'espace devenant ainsi de nature morale. Le temps est une dimension psychique où confluent deux courants opposés: la mémoire et l'espérance.» (Jürg Reinhard)

R. Steiner décrit aussi les hiérarchies supérieures qui, chacune à leur tour, ont créé le temps, l'espace et le mouvement:

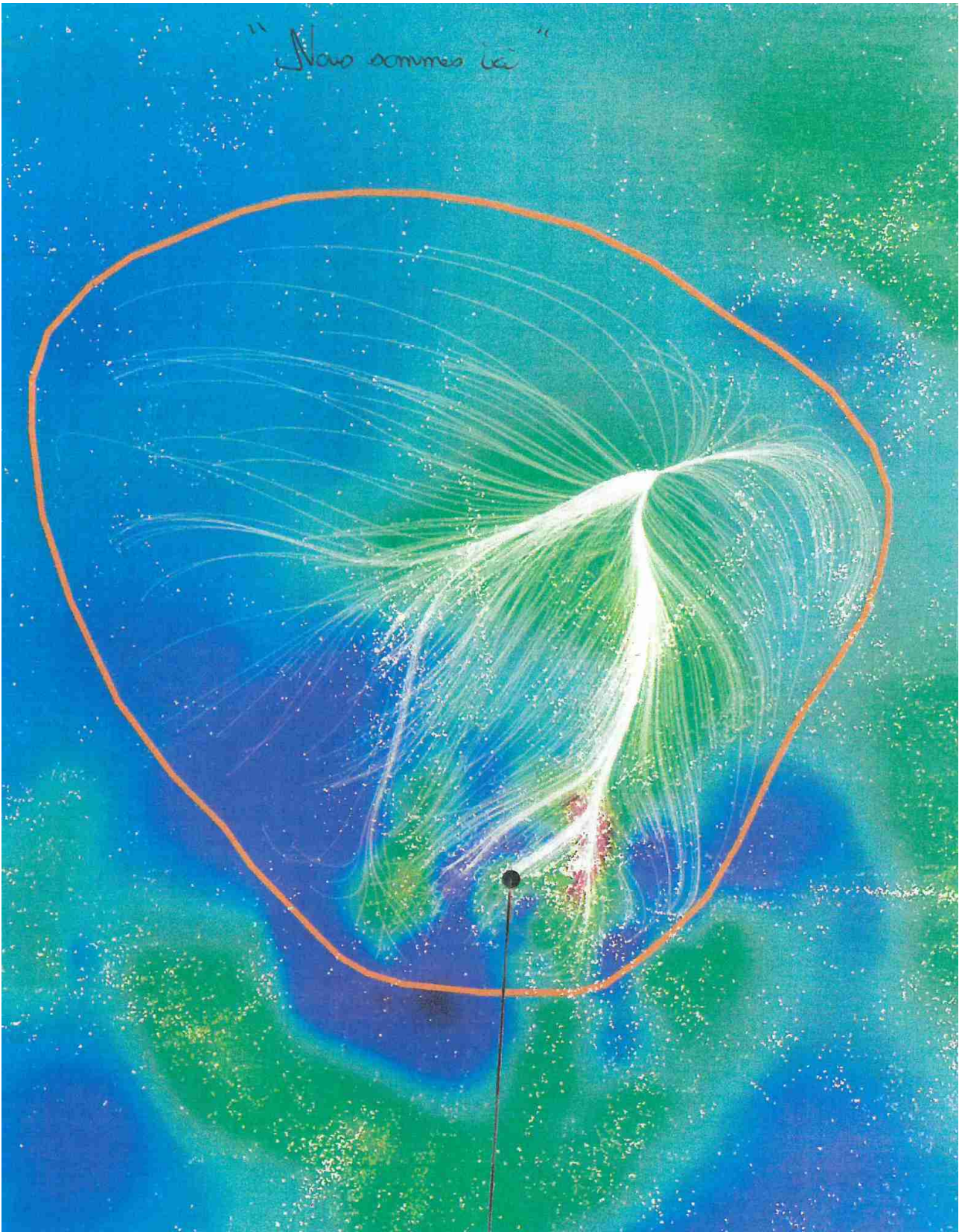
- Les archaïs sont les esprits du temps et de la lumière.
- Les archanges sont les esprits créateurs de la forme et de l'espace.
- Les anges sont les esprits créateurs du mouvement.

Les anges étant les plus proches de nous, c'est le mouvement qui nous est le plus accessible. La géométrie projective (entre autres) peut nous permettre de rentrer dans le monde de la forme mais pour ma part, la nature du temps et de la lumière reste complètement mystérieuse. Steiner fustige d'ailleurs la théorie de la relativité comme une abstraction dénuée de bon sens et les théories modernes concernant la nature corpusculaire ou ondulatoire de la lumière ne sont pas satisfaisantes pour moi.

Je souhaite donc encore explorer cette aventure scientifique moderne, avec la science de l'esprit comme support et aussi en cherchant autour du thème de ces machines éthiques utilisant la conscience humaine dont Tesla, Reich et Keely sont les précurseurs.

Dans la tradition celtique, le temps est le père sagesse et l'espace est la mère intelligence. En espérant que je puisse faire bon usage des deux, le transmettre aux élèves et que l'humanité puisse retrouver graduellement une juste conscience des deux...

Pour finir, si l'on considère que nous sommes au milieu de la 5^{ème} époque post-atlantéenne qui finira dans à peu près six mille années et que vu depuis un point de vue extérieur, notre système solaire n'est pas du tout au centre de la galaxie (voir *annexe page suivante*) alors il est fort possible de replacer notre courte incarnation humaine sur Terre dans une perspective bien plus longue dans le temps et bien plus cosmique dans l'espace!



**Position de notre système solaire
au sein de notre galaxie**

Pierre JAMMES (1977 – 2041)

Intuition du thème reçus sur l'île d' Iona à Noël
2014 (2ème noeud lunaire personnel)

Echos, brouillons et sentiments
en Janvier et février 2015

Écriture, relectures et corrections
au printemps 2015

Pensé, apprécié et écrit entre un jeu de Noël et
une fête de trimestre, deux cabarets, trois
commissions, quatre week-ends de formations,
cinq collèges d'auto-gestion, six poèmes, sept
périodes de sciences, huit lectures de livres de
Steiner, neuf collèges pédagogiques, dix
relectures de chef d'oeuvre, onze chefs d'oeuvre et
douze états d'âmes.
Le compte est bon.

Annexes

Le temps est bien vorace.
Et dans l'omniprésent espace ,
Nous déployons nos ailes,
Dans un voyage éternel.

Le temps de l'enfant,
est l'éternel présent,
Perpétuel mouvement
animé par le sentiment.

Pourtant il importe de saisir,
Passé, présent et avenir,
pour de la vie pouvoir jouir,
et la force de l'incarnation sentir.

La conscience se détend,
Et l'adolescent entend,
Les échos lointains,
D'un passé pré-enfantain

Il peut penser sa mort,
Et vivre sans remords,
Il ressent même l'infini
et le vit en géométrie.

Pierre JAMMES (1977-2041)

Infini, mon ami

Afin de pouvoir prédire,
Avec certitude l'avenir,
Et anticiper correctement ,
Le fil des événements,

Nous avons pensé l'infini,
par une question défini :
Que deviendra la tendance
Quand le variable s'élançe ?

Les limites sont des génies.
Et ce signe, comme un nombre,
Se manipule sans encombres.
Au tableau, une seule ombre :

Du signe, il ne faut abuser,
et parfois, il s'agit d'être rusé,
pour du résultat s'assurer.

La ruse souvent consiste,
sans trop vouloir théoriser,
A correctement factoriser,
La fonction qui nous résiste.

En fait, c'est un défi :
Laquelle de nos fonctions,
Va grimper au plafond,
Ignorant des autres l'action ?

Mais qui sera de taille,
A empêcher l'exponentielle,
de s'élever vers le ciel ?

D'avance, est perdue la bataille,
car son désir est tellement fort,
que toujours payent ses efforts.

Pierre Jammes. (1977-2041)

Les Fonctions

Les fonctions entrent en action,
sur leur domaine de définition
Les fonctions de référence
nous donnent la cadence.

Elles décrivent des tendances,
L'évolution toujours qui danse
Croissance ou décroissance?

La première s'appelle x.
Elle a une idée fixe,
asymptote à elle même
quel amour fusionnel!

La fonction carré
a les bras vers le ciel
En zéro bien ancrée,
elle déploie ses ailes.

La fonction racine
elle est si maligne,
elle refuse les négatifs
quel tri bien sélectif!

La fonction inverse
est comme une averse
qui sans cesse chute
parfois c'est abrupt!

La fonction exponentielle
est un moteur diesel
Après une attente irréaliste
d'un coup, s'élève vers le ciel.

La fonction logarithme
a un drôle de rythme
elle s'élance très fort
puis fatigue de ses efforts.

Mais le Graal en vérité
c'est de trouver la dérivée,
pour être sûr, in fine
l'avenir de deviner.

P. Jammes (1977-2041)

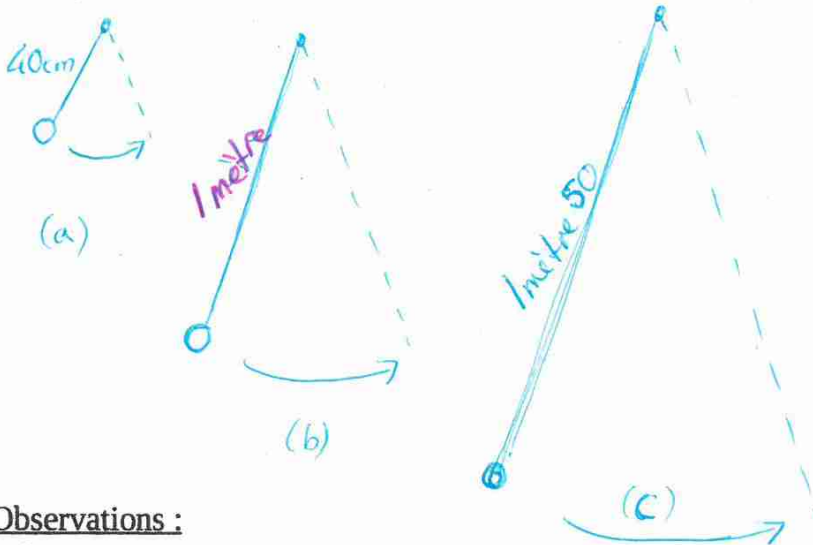
Expérience 1

Pendules de longueurs variables

Déroulement :

M. Jammes fait osciller un pendule dont il peut régler la longueur (le lâcher s'effectue sur un "bip" du métronome qui est réglé sur un bip par seconde).

Schémas :



Observations :

PJ a pris un métronome est la cadence à 60 coups par minute il a pris une masse au bout d'un fil, il a tenu le fil à une distance quelconque est le mouvement est plus en plus court à 1 mètre la pendule change de côté chaque secondes. Quand c'est plus long le mouvement est plus long.

Conclusions/ Hypothèses/ Idées autres :

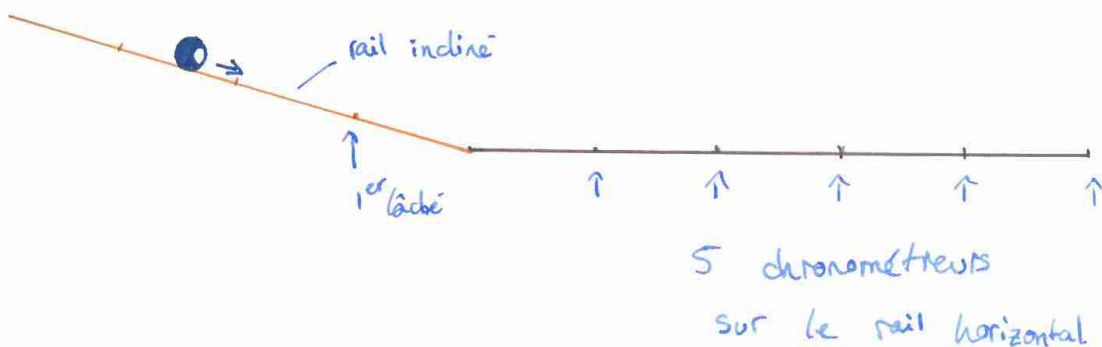
Le mètre est le mètre dû à la mesure du temps. vu que le pendule se balance en même temps que le métronome d'est qu'il y a le "bip" la masse change de côté pil en même temps. C'est en fonction de la mesure du temps. le mètre mesure un mètre dû à la mesure du temps.

Expérience 2

Bille en mouvement sur un rail horizontal

1) Déroulement : M. Sammes lâche une bille sur un rail incliné en lui laissant de plus en plus d'élan. 5 élèves mesurent ensuite le temps écoulé entre le moment où la bille arrive sur le rail horizontal et le moment où elle a parcouru 50cm, 1m, 1m50, 2 et 2m50.

2) Schéma :



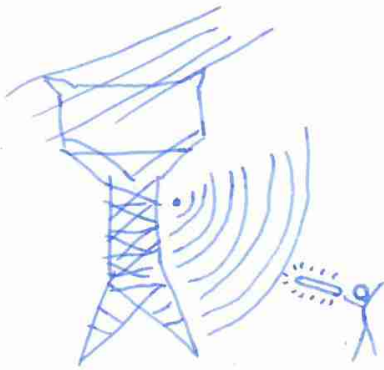
3) Observations :

nous avons écouté et on remarque que sur le rail incliné le son est de plus en plus fort, on entend que sa route de plus en plus vite. Sur le rail horizontal le son est régulier tout du long.

On voit que la bille prend de la vitesse sur le premier rail.

VU

Le néon s'allume pour la simple et bonne raison que le champ magnétique à côté de ces lignes à haute tension est très élevé. Les "ondes" sont présentes dans l'air et le néon touche ces ondes (+ ou -) et donc s'allume. Cela fonctionne jusqu'à une certaine distance (? inconnue). → danger



Pourquoi ces lignes à haute tension dégagent des ondes alors que c'est des fils ?

Bonne travail. Mais explique pourquoi le néon s'allume, quand il touche des ondes. je trouve sa très bon réfléchi ! ☺ Julia

Échelle des durées

Durée, ancienneté ou période, en secondes	Phénomènes
10 ¹⁸	âge de l'univers
	âge de la terre
10 ¹⁵	Ere paléozoïque
	Ere mésozoïque
	Hominidés
10 ¹²	Homo erectus
	Homo sapiens
10 ⁹	"Période glaciaire"
	intervalle d'incarnation
	Vie Humaine
10 ⁶	Septaine
	année
	Mois
10 ³	semaine
	Jour
	Heure = 3600
1	Minute
	Respiration
1	Pulsation cardiaque humaine
	Cycle cérébral / sons graves
10 ⁻³	sons médiums
	sons aigus
	Ondes longues
10 ⁻⁶	Ondes moyennes
	vie des leptons instables
10 ⁻⁹	Ondes UHF (télé)
	Radar
10 ⁻¹²	Vie des "particules étranges"
	Micro-ondes
10 ⁻¹⁵	rayonnement thermique
	Infrarouge
10 ⁻¹⁸	Horloge au Césium
	Lumière visible
10 ⁻²¹	Révolution des électrons
	Ultraviolet
10 ⁻¹⁸	Horloge aux ions Mg
	Rayons X
10 ⁻²¹	Révolution des neutrons
	Rayons Gamma

Période T = durée d'une oscillation complète fréquence = 1/période ou bien $T = 1/f$ (T en s et F en Hz)

Préfixes et valeurs des multiples et sous-multiples

femto	pico	nano	micro	milli	centi	kilo	méga	giga	téra	péta
f	p	n	μ	m		k	M	G	T	P
10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹²	10 ⁻⁹	10 ⁻⁶	10 ⁻³		10 ³	10 ⁶	10 ⁹	10 ¹²	10 ¹⁵

Durant toute cette période, j'ai réalisé beaucoup de choses concernant le rapport entre la géométrie projective, l'homme et la nature. Le cycle d'une fleur par exemple va grandir jusqu'à devenir plate et faner.



Conclusion de la période: /

Cette période m'a permis une ouverture d'esprit sur la perception de l'espace et ma pensée.

Parfois pas clair de me le figurer concrètement, encore floue et très théorique..

Les graphiques m'ont aidé à cela, encore un effort à faire au niveau précision

La géométrie projective nous ouvre à une autre forme de conscience.

La représentation de cette matière est difficile à imaginer, car elle nous dépasse à l'infini!

Conclusion

Penser l'intangible, voilà une des choses que nous permet la géométrie projective.

Si on dessine deux droites parallèles dans une perspective 3D on verra comment elles se croisent sur la ligne d'horizon, c'est-à-dire à "l'infini".

L'infini est l'endroit qu'on ne peut jamais atteindre physiquement, mais seulement avec la pensée: le temps et l'espace y ont une dimension différente, car c'est là où il n'y a plus de changements. C'est la limite du descriptible.

Transformer les formes, définir leur "contraire" (dans l'espace ou le contre espace), cela aussi fait partie de la géométrie projective.

L'homme et la technologie moderne

De la nature à la sous-nature

« [...] La grande majorité de ce qui agit aujourd'hui dans la culture à travers la technique, et dans quoi l'être humain est au plus haut degré entremêlé avec sa vie, ce n'est *pas* de la *nature*, mais de la *sous-nature*. C'est un monde qui s'émancipe de la nature vers le bas.

On voit comment l'oriental, quand il aspire à l'esprit, cherche à échapper aux états d'équilibre qui proviennent uniquement de l'élément terrestre. Il prend une posture de méditation qui le transporte dans un équilibre purement cosmique. La Terre n'agit alors plus sur l'orientation de son organisme. (Ceci n'est pas dit en vue d'une imitation, mais seulement pour expliciter ce qui est exposé ici. Qui connaît mes écrits sait combien les vies spirituelles orientale et occidentale diffèrent en ce sens.)

L'être humain avait besoin de la relation avec l'élément purement terrestre pour le développement de son âme de conscience. C'est là qu'apparut alors la tendance, tout récemment, de réaliser cela partout aussi dans la pratique, ce à quoi l'être humain doit s'accoutumer. En s'accoutumant à l'élément purement terrestre, il rencontre l'élément ahrimanien. Il doit se placer, avec son être propre, dans le juste rapport avec cet élément ahrimanien.

Cependant, au cours de l'époque technique jusqu'à aujourd'hui, l'être humain est encore privé de la possibilité de trouver le juste rapport aussi face à la culture ahrimanienne. L'homme doit trouver la puissance, la force intérieure de connaissance pour ne pas être dominé par Ahriman dans la culture technique. La sous-nature doit être comprise en tant que telle. Elle ne peut l'être que si l'être humain, dans la connaissance spirituelle, s'élève au moins aussi loin dans la sur-nature extraterrestre qu'il est descendu dans la sous-nature par la technique. L'époque a besoin d'une connaissance menant *au-dessus* de la nature, car il faudra intérieurement s'en sortir avec un contenu de vie, tombé au dessous de la nature, dont l'action est dangereuse. Nous ne voulons naturellement pas dire ici qu'il faut retourner de nouveau à des états de culture antérieurs, mais que l'être humain doit trouver le chemin pour mettre les nouvelles circonstances culturelles dans un rapport juste à lui-même et au cosmos.

Très peu encore ressentent quelles importantes tâches spirituelles se forment ici pour les hommes. L'électricité, qui a été vantée comme l'âme de l'existence naturelle quand elle fut découverte, doit être reconnue dans *sa* force, qui est de conduire de la nature à la sous-nature. L'être humain ne doit pas être entraîné dans cette descente.

A l'époque où il n'y avait pas encore de technique qui soit indépendante de la nature proprement dite, c'est *dans* la contemplation de la nature que l'être humain trouvait l'esprit. Se rendant indépendante, la technique a fait se fixer l'attention de l'être humain sur l'élément mécanique-matériel devenant alors pour lui l'élément scientifique. En elle, tout le spirituel-divin qui est en lien avec l'origine du développement de l'humanité est absent. L'élément purement ahrimanien domine cette sphère.

C'est dans une science de l'esprit que l'autre sphère est en train d'être créée, en laquelle un élément ahrimanien n'est absolument pas présent. Et c'est justement par l'activité de connaissance qui accueille cette spiritualité à laquelle les puissances ahrimaniennes n'ont aucun accès, que l'être humain trouvera la force pour faire face à Ahriman *dans le monde*. »

Les lignes directrices de l'anthroposophie (GA 26)

Rudolf Steiner, Mars 1925

traduction : L. Defèche

Bibliographie

Herman Bauer « De l'inertie à la liberté » (trad P . Paccoud)

Jürg Reinhard « Au bout de la physique » (trad P . Paccoud)

Raymond Burlotte « La géométrie projective et la découverte de l'infini »

Jean Pierre Lentin « Ces ondes qui tuent, ces ondes qui soignent »

Œuvres de R. Steiner :

« La quatrième dimension »

« Chaleur et matière »

« Lumière et matière »

« La science de l'occulte »

Remerciements à:

Pierre Paccoud et le groupe des week-end de sciences qui m'ont initié à l'approche phénoménologique.

J-F Vétois, tuteur à Genève qui m'a patiemment donné les images essentielles de chaque période.

Emmanuel Canard, mentor officieux mais au combien efficace en sciences .

R.Steiner pour la science de l'Esprit.

Gabriel Pinguet pour ses éclairages sur la science de l'Esprit.

J.P. Ablard pour ses relectures.

Les élèves de l'école de Genève pour leurs commentaires et leur enthousiasme.

