

DE LA PHYSIQUE NAÏVE A L'APPROCHE PHENOMENOLOGIQUE : UN APPORT DES SCIENCES COGNITIVES A LA MEDIATION SCIENTIFIQUE

Richard-Emmanuel EASTES,
Département d'Etudes Cognitives, Ecole normale supérieure (Paris)

Francine PELLAUD,
Laboratoire de didactique et d'épistémologie des sciences, Université de Genève (Suisse)

MOTS-CLEFS

Sciences naïves, sens physique, phénoménologie, apprendre, transformation des conceptions, approche pédagogique, médiation scientifique, enseignement des sciences, science ressentie et incarnée.

RESUME

Un des problèmes fondamentaux de la médiation¹ de notions scientifiques complexes tient au fait qu'elle s'appuie plus souvent sur les constructions théoriques élaborées depuis des siècles par les communautés scientifiques, que sur les connaissances profanes et le sens commun des apprenants auxquels elle s'adresse².

Le présent article propose une approche pédagogique originale, fondée sur l'exploitation des connaissances « naïves » des apprenants et inspirée de l'approche scientifique adoptée par les chercheurs des disciplines scientifiques émergentes. Il montre comment son emploi, par une articulation subtile avec les approches habituelles, est susceptible d'offrir à tous les publics des conditions d'apprentissage des sciences plus confortables et plus accessibles.

DES SCIENCES... « NAÏVES »

Dans leur effort pour mieux comprendre le fonctionnement de l'esprit humain, les sciences cognitives ont défini la notion de « physique naïve » (et plus généralement de « sciences naïves »). Par là, elles désignent l'ensemble des connaissances susceptible d'être rattachées à une discipline scientifique donnée (physique mais également mathématiques, biologie ou même psychologie) mais acquises uniquement par l'expérience quotidienne, commune et profane. Ainsi, le jeune enfant découvre relativement tôt que les objets se déplacent spontanément vers le bas lorsqu'on les lâche, que les feuilles des arbres tombent en automne et qu'un sourire de leur maman est le signe de sa satisfaction.

Ces connaissances « naïves » sont parmi les plus robustes de toutes celles dont un individu peut disposer, car elles lui sont dès sa naissance imposée par son environnement le plus proche. Si ce dernier a été suffisamment riche et conforme aux comportements habituels du monde (ce qui exclut par exemple les naissances à venir sur la station spatiale internationale), ce sont en outre des connaissances qu'un médiateur

¹ Par « médiation », nous entendons aussi bien la vulgarisation scientifique que l'enseignement des sciences ; de même, « l'apprenant » désignera indifféremment l'élève et l'interlocuteur du vulgarisateur.

² On peut ainsi entendre dans tel fête de science, sur le stand de chimistes tentant valeureusement de partager leur savoir, une explication de la « baisse de la température de fusion de la glace lorsqu'on y met du sel » faisant appel aux « potentiels chimiques des phases liquide et solide de l'eau ». Dans tous les musées scientifiques ou presque, il est possible d'admirer tantôt une balle de ping-pong, tantôt un ballon de baudruche « léviter » dans le flux d'air d'un sèche-cheveux ou d'une soufflerie... l'explication invoquée faisant systématiquement appel au fameux « théorème de Bernoulli », d'emploi si aisé mais d'interprétation si délicate. Ne parlons pas de la célèbre « expérience de Galilée », en général explicitée par une reformulation plus ou moins habile du « principe fondamental de la dynamique ».

pourrait qualifier de « justes ». Celui qui en dispose n'aura donc que rarement, ou dans des cas très particuliers seulement³, à les remettre en question.

QUELQUES IDEES COMPLEMENTAIRES RELATIVES A « L'APPRENDRE »

Les recherches sur l'apprendre [2] nous révèlent de leur côté l'insigne importance, pour un sujet apprenant (et son enseignant), de prendre appui sur ses *pré-conceptions* pour faire évoluer son savoir. En premier lieu et bien évidemment, pour lui offrir des informations qu'il soit susceptible de comprendre⁴ et pour éviter de répondre à des questions qu'il ne se pose pas. Dans le meilleur des cas ensuite, pour compléter graduellement ces pré-conceptions⁵, mais le plus souvent pour les transformer, parfois radicalement, une expérience ou une information nouvelle étant venues les contredire.

D'un point de vue psychologique, pour l'élève qui doit accepter d'abandonner une partie de ce en quoi il croyait jusque-là, ce processus de transformation des conceptions est des plus coûteux (figure 1). Et il le sera d'autant plus qu'il lui faudra davantage remettre en question les connaissances en lesquelles il avait confiance.

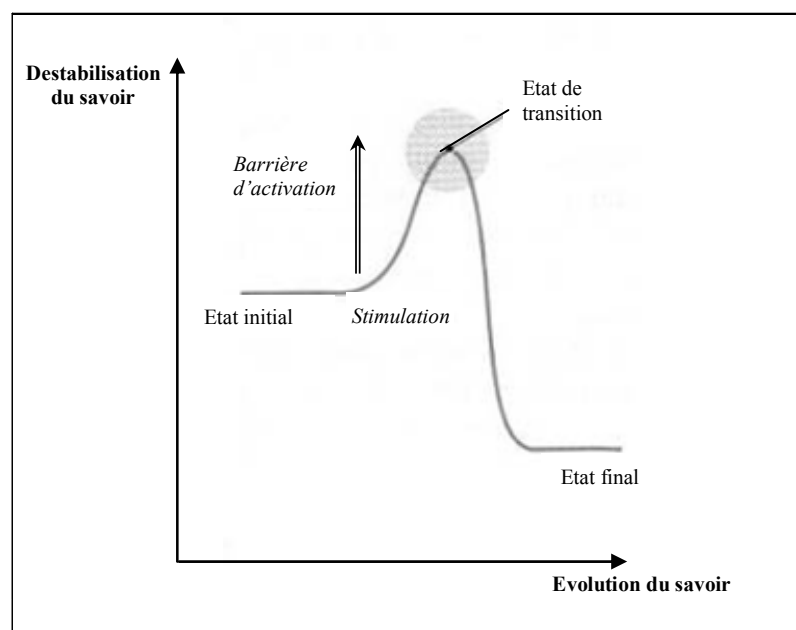


Figure 1 : Diagramme représentatif de l'acte d'apprendre.

La « stabilité du savoir » peut être considérée comme le degré de confiance que l'apprenant accorde à son savoir⁶.

De ces considérations découle très naturellement l'idée d'utiliser les connaissances « naïves » des élèves et, plus généralement, de tout participant à une activité de médiation scientifique. C'est justement ce que propose l'approche phénoménologique des sciences.

POURQUOI « PHENOMENOLOGIQUE » ?

La double origine de l'idée de *phénoménologie*, philosophique et scientifique, est la promesse d'une richesse insoupçonnée de son exploitation pédagogique. Son premier usage s'inspire de la méthode de

³ Cas particuliers qui permettent en l'occurrence de faire émerger la notion de *contre-intuitivité*, d'un fait ou d'une expérience, que nous avons étudiée par ailleurs [1].

⁴ Autant du point de vue du respect de son « cadre de référence » (vocabulaire, préoccupations, valeurs...) que de ses capacités cognitives, pour lesquelles la notion de « zone proximale de développement », introduite par Vygotsky, est particulièrement pertinente et évocatrice.

⁵ Ce à quoi se sont attachés les constructivistes (et socio-) depuis Piaget.

⁶ Notons que cette notion de stabilité doit être distinguée de celle de justesse. Une conception fautive peut tout à fait être plus stable qu'une conception juste chez un individu donné, et c'est la raison pour laquelle il n'en changera pas ou y reviendra tôt ou tard. Nous avons décrit ailleurs les paramètres qui régissent cette stabilité [3].

Husserl et attribue ce qualificatif à toute philosophie qui se propose, par la description des choses elles-mêmes, de « découvrir les structures transcendantes de la conscience et des essences ». En sciences, le terme est plus souvent employé pour désigner une approche qualitative, largement fondée sur l'observation approfondie du phénomène étudié. Elle est souvent davantage inspirée par le « sens physique » du chercheur que par les constructions théoriques qui préexistent sur le sujet, même si un « paramètre phénoménologique » peut de temps à autres être introduit dans une théorie qui ne disposerait pas de la grandeur physique adéquate⁷.

UNE APPROCHE ESSENTIELLEMENT EMPRUNTEE AUX DISCIPLINES EMERGENTES

En outre, cette approche constitue presque un passage obligé dans l'élaboration du savoir scientifique. C'est la raison pour laquelle, on la trouve dans les sciences très récentes, tout simplement parce que les concepts et modèles qui peuvent l'appuyer n'ont pas encore été imaginés. C'est le cas de la physique des milieux granulaires, où des phénomènes aussi spectaculaires et contre-intuitifs que le « chant des dunes »⁸, la « dilatance de Reynolds »⁹ ou la « ségrégation » des milieux granulaires sont encore expliqués « avec les mains », faute d'approches thermodynamiques, mécaniques ou numériques élaborées.

C'est ainsi que le phénomène de *ségrégation* échappe encore à toute description thermodynamique statistique des assemblées de grains. Pour expliquer cet effet selon lequel, lorsque l'on secoue un mélange de gros et de petits grains, non seulement ils se séparent mais les gros se retrouvent rapidement au dessus des petits, les physiciens recourent simplement à l'argument de bon sens consistant à dire que « les petits grains se glissent entre les gros et occupent les espaces laissés libres par ces derniers ».

UNE APPROCHE « PHENOMENOLOGIQUE » DE LA MEDIATION SCIENTIFIQUE

De ces considérations découle l'idée de tenter d'établir des liens d'ordre didactique entre cette double approche philosophique et scientifique, et les « sciences naïves » évoquées plus haut. Car en effet, l'approche phénoménologique des chercheurs prouve l'existence d'une certaine pratique de la science, capable de faire l'économie des concepts scientifiques abstraits et de leur mathématisation. Elle est alors susceptible de conduire à une forme de médiation scientifique ne nécessitant ni prérequis, ni formalismes mathématiques, ni connaissances approfondies... condition qui s'avérerait indispensable pour pouvoir espérer exploiter les connaissances naïves des apprenants.

Notons que cette approche pédagogique n'est pas nouvelle : les recherches bibliographiques dans ce domaine conduisent en effet à découvrir que d'autres y ont déjà songé, sous des formes un peu différentes dénommées paradoxalement « Conceptual Physics » outre Atlantique ou « Fisica Ingenua » en Italie [5], l'association française *1,2,3 Sciences* ayant par ailleurs proposé l'idée du « gros mot scientifique » [7]¹⁰.

Pourquoi alors, dans une perspective de rationalisation et de généralisation à l'ensemble des activités de médiation scientifique, ne pas justement tenter d'emprunter aux meilleurs vulgarisateurs et aux sciences expérimentales en cours de construction, cette approche largement qualitative fondée sur l'analyse expérimentale et la mise en relation des phénomènes ? Exemptes de concepts, de lois, de formules, de théories, d'équations ou autres formalismes scientifiques, elle mène en effet à une compréhension qualitative

⁷ La mécanique des fluides se risque par exemple à l'utilisation de l'*hydrophobicité*, pour éviter le recours à un traitement de thermodynamique statistique des interactions des fluides avec les parois solides. Or ce paramètre n'a pas de signification réelle, la notion de « caractère hydrophobe » ne désignant qu'une absence d'hydrophilie. De même que « l'interaction hydrophobe » n'existe pas, une substance hydrophobe ne « repousse » pas les molécules d'eau ; ses constituants moléculaires attirent simplement moins ces molécules qu'elles ne le font elles-mêmes entre elles.

⁸ Ce chant est un son relativement puissant que l'on peut entendre lorsque le sable s'écoule le long de certaines dunes. On peut également l'entendre en dévalant une dune en courant ou en glissant. La référence [4] offre une interprétation excellente de ce phénomène presque magique.

⁹ La dilatance est la propriété du sable mouillé de s'assécher autour des zones qui subissent des pressions, comme par exemple autour des pieds lorsque l'on marche sur une plage léchée par les vagues.

¹⁰ Notons à cette occasion que les activités de vulgarisation scientifique que les auteurs développent avec l'association *Les Atomes Crochus* s'appuient également largement sur cette approche [5].

et ressentie, souvent largement suffisante pour appréhender les comportements et propriétés de l'univers¹¹. Mais gardons à l'esprit que pour compenser le manque d'outils théoriques et mathématiques, une telle approche devra se fonder en très grande partie sur l'observation du monde réel et faire souvent référence aux phénomènes les plus courants et les plus intuitifs qui s'y déroulent¹².

A partir de l'observation et de la description des phénomènes réels, élaborer « avec les mains » des interprétations exemptes de concepts élaborés qui mènent à une compréhension qualitative mais ressentie des comportements et propriétés de l'univers...

CONCLUSION

Gardons-nous bien de faire de cette approche une méthode universelle ou une panacée pédagogique. Si cette dernière existe, elle est probablement constituée d'une multitude d'approches différentes et complémentaires. Cette précaution prise, interrogeons-nous sur l'avantage qu'un médiateur scientifique pourrait avoir à se laisser gagner, si ce n'est par sa pratique, au moins par l'état d'esprit qu'elle suggère. Si son intérêt dans la vulgarisation scientifique est manifeste, cette manière de donner du sens au monde sans s'encombrer d'un vocabulaire scientifique souvent mal compris n'est-elle pas susceptible d'aider l'élève en difficultés à les surmonter ? Songeons simplement à celui qui, pour une raison ou une autre, a manqué le ou les cours dans lesquels étaient introduits les concepts de base nécessaires à la compréhension du modèle employé, voire celui qui, pour des raisons familiales ou de santé, a accumulé un retard d'une ou plusieurs années scolaires ; ou sans aller aussi loin, simplement à l'élève distrait, ayant par mégarde manqué une définition ou une étape du raisonnement de son enseignant...

La combinaison et l'alternance des approches phénoménologique et théorique peut permettre une très grande diversification des approches pédagogiques tout en respectant les attentes et les conceptions des élèves. Cette complémentarité peut d'ailleurs exister jusque dans l'évaluation. En effet, pour éviter que les élèves ne se « cachent » derrière des formules ou des applications de lois, pourquoi ne pas leur demander de donner une explication phénoménologique d'une situation problème, où ils pourraient utiliser le langage quotidien, plus familier, en complément à un langage plus scientifique ?

De manière générale et quels que soient nos interlocuteurs, en formation ou non, qu'ils se destinent non à une carrière scientifique, il nous paraît important que tous gardent des sciences une connaissance ressentie et opératoire des phénomènes, plutôt que des concepts désincarnés, des termes abscons déformés et des bouts de théorèmes inopérants¹³. D'autant plus que cette manière d'approcher les phénomènes scientifiques ne dénigre en rien l'approche théorique. Au contraire, elle lui prépare le terrain de manière optimale, montrant aux apprenants qui s'y intéressent les limites qu'elle présente et, à partir d'un certain niveau de complexité, la nécessité d'un vocabulaire et de théories plus adaptés et moins qualitatifs. Le formalisme arrive alors à point nommé pour compléter les lacunes et permettre « d'aller plus loin ». Les formules, lois et autres concepts prennent alors un véritable sens pour l'apprenant.

Pour résumer...

L'approche phénoménologique ne fait pas intervenir de concepts scientifiques formalisés et tente simplement de décrire et d'interpréter les phénomènes avec des mots et des concepts de tous les jours. Elle n'est ni quantitative, ni prédictive, ni explicative mais offre une vision incarnée et ressentie des comportements de la

¹¹ Notons que la *métaphore* ne sera pas considérée comme relevant de cette approche car elle n'est qu'évocatrice ou source de moyens mnémotechniques, ce qui l'empêche d'être opératoire lorsque l'on sort du cas particulier pour lequel elle est employée.

¹² Ainsi pour pallier l'impossibilité d'évoquer la notion « d'induction électromagnétique » ou de « courants de Foucault » dans l'interprétation du fonctionnement du ralentisseur électromagnétique des camions, on fera au préalable référence à un objet courant, la dynamo de vélo ou l'alternateur de voiture. En démontant la dynamo, on constatera qu'un courant électrique est créé par la rotation d'un aimant devant une bobine de fil, ce qui suffira (toujours dans le cadre de cette approche) pour admettre plus généralement qu'un objet conducteur du courant électrique en mouvement relatif par rapport à un aimant, est parcouru par un courant électrique.

¹³ A ce titre, gageons que l'élaboration de « modèles pédagogiques », faux du point de vue académique mais aptes à transmettre aux élèves une vision cohérente et opératoire du monde, saurait également faire avancer la pratique de l'enseignement des sciences [8]...

nature. Elle ne nécessite que très peu de connaissances préalables et permet d'introduire quelques concepts scientifiques de base. Se conjuguant parfaitement avec une approche théorique et diversifiant les points d'entrée vers les conceptions des élèves et des publics, elle leur permet une assimilation des concepts et des lois plus aisée et plus opératoire.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Eastes R.-E. & Pellaud F. *Un outil pour apprendre : Intérêts, limites et conditions d'utilisation de l'expérience contre-intuitive* ; Bulletin de l'Union des Physiciens spécial didactique, juil-août-sept. 2004.
- [2] Giordan A., *Apprendre !* Belin, 1998, nouvelle édition 2002.
- [3] Eastes R.-E. & Pellaud F. *Un modèle pour comprendre l'apprendre : le modèle allostérique*, Gymnasium Helveticum, janvier 2005.
- [4] *Ce chant venu des dunes* ; S. Douady ; Journal du CNRS, **153-154**, sept-oct 2002.
- [5] <http://atomes.crochus.free.fr>
- [6] *Fisica ingenua : studi di psicologia della percezione*, P. Bozzi, Garzanti, 1998.
- [7] Tout numéro de *L'agitateur* ; 1, 2, 3 Sciences, Antony, <http://www.123sciences.fr>
- [8] *La modélisation dans l'enseignement et la vulgarisation des sciences* ; A. Giordan, Impact : science et société **164**, p. 337-353.
- [9] *Histoire de la gravitation* : <http://elbereth.obspm.fr/~charnoz/grav4.html>

Approche phénoménologique de l'expérience de Galilée

Première phase : observation

L'expérience consiste à lâcher deux balles (une balle de tennis et une boule de pétanque par exemple) d'une hauteur de 2 m environ et à observer leur comportement. Elle permet de réaliser que :

- * les balles tombent ;
- * elles adoptent le même mouvement vertical ;
- * elles arrivent au sol au même moment.

Deuxième phase : identification des propriétés et paramètres susceptibles d'intervenir dans le mouvement

Il convient à présent d'identifier les paramètres importants car de nombreuses propriétés de l'objet d'étude sont susceptibles d'intervenir. Heureusement, l'approche est facilitée pour le médiateur (qui lui est scientifique) par la connaissance théorique des paramètres réellement déterminants. Et en effet, il pourra d'emblée éliminer la température ou la présence ou non d'air à l'intérieur de la balle par exemple, non sans avoir pris le soin de réfléchir à la façon de monter qu'ils ne sont en effet pas significatifs, au cas où on lui poserait la question.

Par suite, nous pouvons retenir :

- * la propriété de ces objets à être attirés par la Terre ;
- * la difficulté qu'il y a à mettre ces objets en mouvement ;
- * la taille des balles ;
- * la capacité de l'air à en freiner le mouvement.

De même la vitesse et son augmentation constituent des paramètres à prendre en compte (on considère ici que les notions de vitesse et d'accélération sont des concepts connus, au sens de leur signification courante).

Troisième phase : étude phénoménologique de l'importance de la « résistance de l'air »

Il est possible que, avec des enfants par exemple, cet effet ne soit pas évoqué. Cependant s'il l'est, il est important de pouvoir y répondre avec rigueur, sans toutefois entrer dans des explications trop abstraites.

Pour cela, il suffit de poser les deux balles sur un support horizontal lisse et de souffler modérément dessus à une distance d'une vingtaine de centimètres. La boule de pétanque ne bougera pas et la balle de tennis, si elle bouge, ne le fera que très peu. Ainsi on montre que dans les conditions de la chute où le courant d'air subit par les balles est de force comparable, la « résistance de l'air » est probablement un paramètre négligeable.

L'étape d'abstraction, qui consiste à passer de l'idée de la « résistance de l'air » s'exerçant sur un objet en mouvement vertical à celle de l'effet du souffle sur la rupture de leur immobilité, n'est pas très difficile et s'avère très formatrice.

En outre, l'expérience permet de mettre en évidence qualitativement l'importance du rapport surface/poids de l'objet dans sa sensibilité à l'effet de l'air : la même expérience réalisée sur une boule ou une feuille de papier montre que l'air a bien un effet sensible sur certains objets légers ou de grande surface.

Quatrième phase : étude phénoménologique de la chute

L'approche est simple : elle consiste à montrer « avec les mains » comment « l'inertie » de la boule de pétanque compense la plus forte « attraction gravitationnelle » qu'elle subit (sans bien sûr prononcer ces mots).

Saisissons une balle dans chaque main. La boule de pétanque apparaît plus « lourde », elle est donc plus attirée par la Terre que la balle de tennis. C'est ce qui explique que nombreux sont ceux qui pensent qu'elle touchera le sol en premier.

Secouons à présent les deux balles ; on constate que la boule de pétanque est beaucoup plus difficile à agiter. Il ne s'agit plus de l'effet de son poids puisque secouée dans un plan horizontal, la constatation est la même. Une analogie peut conforter cette idée : s'il est possible de déplacer un petit yacht amarré en tirant sur son amarre, il est impossible de le faire avec un paquebot¹⁴. Par suite, un objet massif est plus difficile à mettre en mouvement qu'un objet qui l'est moins.

Appliquons à présent ces deux constatations à la chute des balles : la boule de pétanque, bien que plus attirée par la Terre, est plus difficile à mettre en mouvement par cette même action de la Terre. Les deux effets se compensent

¹⁴ On évitera, dans le cadre de cette analogie, d'évoquer les effets de frottements de l'eau qui sont encore une fois secondaires.

donc, à chacun des moments de la chute ; les deux balles touchent le sol au même moment.

Cinquième phase : limites de l'approche

Evidemment, il est impossible de montrer de cette façon que les deux effets se compensent exactement. C'est pour cette raison que l'approche ne peut être que qualitative. Toutefois, ce problème constitue également une limite de l'approche théorique du problème, même s'il y apparaît beaucoup moins clairement. En effet, il est hautement non trivial de montrer que masse gravitationnelle et masse d'inertie sont égales¹⁵. Or c'est cette égalité qui permet de simplifier l'équation $m \cdot g = m \cdot a$ dans l'approche théorique et de montrer par suite que... l'inertie et l'attraction gravitationnelle se compensent !

Sixième phase : dépassement de ces limites

Si le raisonnement ci-dessus ne permet pas de montrer que les deux effets se compensent exactement, Galilée lui-même apporta la démonstration qu'en aucun cas un objet massif ne pouvait tomber plus vite qu'un objet léger. Et cette démonstration très élégante¹⁶, fondée sur un raisonnement simple « par l'absurde », a toute sa place dans notre approche car elle entre elle aussi dans le cadre de l'approche « phénoménologique » :

« Supposons qu'un corps plus massif tombe plus vite qu'un corps léger, alors, si on attache à l'aide d'une ficelle une grosse pierre et une petite et qu'on les lâche, la grosse pierre devrait être ralentie dans son mouvement de chute par la petite qui à priori tombe moins vite¹⁷. Donc le couple petite pierre + grosse pierre tombe moins vite que la grosse pierre toute seule, pourtant moins lourde. Cette conclusion est en contradiction avec l'hypothèse de départ qui s'en trouve donc infirmée. »

Septième phase : retour sur l'effet de la « résistance de l'air »

On a montré plus haut que la balle de tennis était plus sensible au souffle que la boule de pétanque lorsqu'on les avait posées sur une surface lisse. Par suite, l'effet de « résistance de l'air », même s'il est négligeable, est plus important sur cette balle. Cela signifie que sur une distance plus grande, la balle de tennis sera probablement retardée par rapport à la boule de pétanque... et c'est ce qui est en effet observé.

En revanche, l'étude du même effet dans l'approche théorique est beaucoup plus délicate car elle nécessite la modélisation du frottement ($\mathbf{f} = -\lambda \cdot \mathbf{v}$ par exemple, λ étant approximativement le même pour les deux balles), son introduction dans le principe fondamental de la dynamique et la constatation que, lorsque l'ensemble de l'équation est divisée par la masse de l'objet, il apparaît un terme en λ/m d'autant plus petit que m est plus grande. Autant d'étapes difficiles à appréhender pour l'élève ou le spectateur de science, alors que souffler sur une balle et observer le résultat ne lui demande que peu de mobilisation.

Cet exemple montre que l'approche phénoménologique peut même dans certains cas présenter un avantage théorique net sur l'approche théorique.

¹⁵ Cette démonstration a été réalisée par Einstein en 1915 dans le cadre de la théorie de la relativité générale.

¹⁶ Voir à ce sujet le site web de S. Charnoz (Equipe Universitaire Gamma-G, Paris VII CEA / Sap) [9].

¹⁷ On retrouve ici la notion « d'inertie » de la petite pierre, qui de par sa masse, offre une « résistance » à sa mise en mouvement par la grosse pierre.