



Frédéric Elie on
ResearchGate

Comment disposer d'un certain niveau de connaissance pluridisciplinaire en sciences ?

Frédéric Élie

mai 2005

CopyrightFrance.com

La reproduction des articles, images ou graphiques de ce site, pour usage collectif, y compris dans le cadre des études scolaires et supérieures, est INTERDITE. Seuls sont autorisés les extraits, pour exemple ou illustration, à la seule condition de mentionner clairement l'auteur et la référence de l'article.

« Si vous de dites rien à votre brouillon, votre brouillon ne vous dira rien ! »
Jacques Breuneval, mathématicien, professeur à l'université Aix-Marseille I, 1980

Abstract : Dans cet article je présente les grandes lignes d'une méthode que j'ai forgée par expérience (personnelle et professionnelle) sur la manière de posséder des connaissances pluridisciplinaires en sciences. Elle ne prétend absolument pas que l'on puisse se spécialiser en tous domaines, mais elle propose quelques conseils pour repérer et exploiter les passerelles entre les différentes spécialités scientifiques, afin de s'adapter à des domaines dans lesquels les personnes n'ont pas eu de formation initiale. Les niveaux que l'on peut atteindre par cette méthode sont très variables : ils dépendent de la formation scientifique initiale, de la motivation de découvrir des disciplines nouvelles, du temps disponible, du degré d'application exigé lors du cursus professionnel,... bref de l'objectif que l'on s'est fixé eu égard aux conditions initiales.

Les techniques détaillées de la méthode ne seront pas présentées ici. J'ai écrit ce résumé suite à différentes remarques de visiteurs de mon site qui s'interrogeaient sur son apparence pluridisciplinaire. J'espère qu'ils trouveront ici une réponse de principe satisfaisante.

On trouvera par ailleurs, dans l'article « [méthode expérimentale](#) » quelques réflexions sur le sujet, toutes axées sur la préoccupation suivante : dans ses fondements et sa démarche la science, plus exactement l'esprit scientifique, est indivisible, aussi comment inviter les gens à se l'approprier tout en dépassant les barrières qui peuvent être des obstacles décourageants, entre les inévitables spécialisations ?

SOMMAIRE

- 1 – Méthode des outils transverses
- 2 – Méthode du point focal
- 3 – Veille transverse

§§§

L'apprentissage pluridisciplinaire des sciences repose sur trois principes inédits (♣):

- 1 – outils transverses
- 2 – point focal
- 3 – veille continue

Les voici développés succinctement :

1 – Méthode des outils transverses

Repérer les méthodes et outils de raisonnement, de calculs ou de modélisation transverses à un grand nombre de domaines de spécialités.

Avantage : ceci permet un important gain de temps lorsqu'on aborde un domaine nouveau, pas besoin de se former à la méthode ou à l'outil rencontrés par ailleurs.

Recommandations :

a) ne pas perdre de vue certains aspects spécifiques dans l'adaptation ou la traduction de la méthode ou outil au domaine.

b) les outils transverses doivent être parfaitement maîtrisés

Exemples :

- un système mécanique, un système d'analyse optique, ou un capteur peuvent être caractérisés par leurs fonctions de transfert qui reposent sur l'analyse de Fourier ou de Laplace

- le théorème de maximalité de Pontryaguine est applicable aux systèmes de régulation (hydrauliques, électroniques, etc) mais aussi au domaine de la biomathématique qui s'intéresse aux conditions physicochimiques optimales des équilibres dynamiques en physiologie

- le calcul tensoriel offre la possibilité de comprendre aussi bien la mécanique des milieux continus que la relativité générale

- les concepts d'entropie, d'ergodicité, de quantité d'information se retrouvent en thermodynamique statistique comme en théorie de l'information (dont une des applications est l'informatique théorique), en économétrie, en théorie des systèmes complexes et/ou loin de l'équilibre.

- En biologie la compréhension des structures et des phénomènes physiologiques nécessitent des bases en chimie organique, chimie générale, thermochimie, phénomènes de diffusion, etc.

- La physique quantique est le dénominateur commun d'un nombre immense de domaines : chimie, électronique, nanotechnologie, thermodynamique statistique, astrophysique, cosmologie, sciences des matériaux, optique quantique, informatique quantique, physique nucléaire, etc...

- Bien des outils mathématiques permettent des modélisations en physique théorique communes : la géométrie différentielle introduit les spineurs, les algèbres de Lie, le formalisme symplectique, etc très employés en physique quantique, elle-même discipline de base. Elle introduit aussi les outils de la relativité générale ou de mécanique (au sens large : mécanique théorique, mécanique des milieux continus, mécanique des fluides, acoustique, énergétique...). De même l'analyse mathématique (calcul intégral, analyse fonctionnelle, etc) introduit les outils applicables aux problèmes de la modélisation des systèmes et leur régulation, le traitement des signaux et de l'information, les méthodes numériques, etc...

- Etc., etc...

A tout cela s'ajoute fondamentalement les outils de base du raisonnement scientifique et de la méthode expérimentale (voir article [« méthode expérimentale »](#), F. Élie, mai 2000, mars et décembre 2005) qui permettent des passerelles entre domaines.

2 – Méthode du point focal

L'image du point focal utilisée ici se justifie comme suit. Un point focal est un point vers lequel convergent plusieurs chemins et d'où partent en s'écartant plusieurs autres chemins, comme le foyer d'une lentille en optique. Ainsi, pour traiter une question précise, par cette méthode, on choisit de développer progressivement les différentes notions qui se présentent. Ces développements, à leur tour, donnent lieu à d'autres développements, de deuxième niveau, portant sur de nouvelles notions rencontrées, et ainsi de suite. On obtient ainsi un faisceau de développements arborescents, étagés sur plusieurs niveaux. Plus le rang des niveaux est élevé plus l'exposé est spécialisé et technique. Souvent, on s'aperçoit d'ailleurs que ces faisceaux utilisent des outils et des concepts de base communs (cf. § 1 ci-dessus). Reste à savoir où arrêter cette cascade de développements : tout dépend du périmètre du sujet traité et du niveau de précision que l'on s'est fixé.

Au niveau le plus immédiat, l'exposé est proche du type vulgarisation : quoique suggestif et imagé, ce niveau est des plus imprécis. Sauf si l'emploi des termes techniques, sans explications, trouve une résonance chez l'interlocuteur préalablement formé.

Pour mettre en œuvre cette méthode dans le but d'un apprentissage efficace, il faut :

- investir énormément dans la *curiosité scientifique* : ne pas se contenter d'explications vagues et imprécises, ou de termes techniques non expliqués. Il faut chercher ce qui les sous-tend.
- Savoir *retrouver une information*, ou la redémontrer : inutile de tout retenir, c'est humainement impossible. Pour cela il faut se constituer progressivement l'arborescence des notions scientifiques et techniques.
- Utiliser constamment le *brouillon*, écrire des remarques relatives aux passages d'un document, écrire les correspondances que la notion peut avoir avec d'autres documents étudiés, se convaincre d'un résultat en le retrouvant soi-même au brouillon.
- Alimenter le point focal d'où partira notre recherche par une ou plusieurs expériences, qu'elles soient sophistiquées ou au contraire, que l'on peut faire sur un « coin de table », avec les moyens du bord (comme le suggère le prix Nobel de physique Pierre-Gilles De Gennes, il importe de *conduire un raisonnement rigoureux sur une expérience même approximative*, pourvu bien sûr d'être conscient des simplifications employées et des conditions de la mesure)
- A l'inverse, à partir des développements issus du point focal, tenter d'imaginer, de comprendre, de retrouver d'autres expériences, qui pourront servir de points focaux à leurs tours.
- S'intéresser aux *aspects historiques* d'une idée ou d'une découverte scientifique : très souvent elles mettent en jeu des problèmes et des contextes qui puisent dans des domaines différents de celui concerné directement par elles. L'aspect historique permet souvent de comprendre les limites du domaine de validité de la découverte puisque, en général, celle-ci répond à une question, une insuffisance, un débat ou une contradiction apparus dans un contexte donné. Les exemples sont très nombreux : citons la genèse de la physique quantique à partir, entre autres, de la « catastrophe de l'ultraviolet », de l'effet photoélectrique, des expériences des fentes d'Young, de l'analogie optique ondulatoire de la mécanique, etc.
- Chercher à tous moments à identifier et comprendre les *limites du domaine de validité* d'une discipline scientifique. On n'applique pas l'optique géométrique au niveau atomique, on n'applique pas la thermodynamique des transitions de phases telle quelle en nanotechnologie, on n'applique pas la loi des gaz parfaits aux hautes pressions, les flux électriques, thermiques ou chimiques cessent de suivre des lois linéaires loin de l'équilibre, etc.

- Par conséquent, avoir le sens des échelles de temps, d'espace, de forme, d'énergie mises en jeu dans la discipline, toujours envisager les *ordres de grandeur*. Bien des notions se justifient au niveau macroscopique parce qu'elles ont une signification statistique ou issue à une simplification, et n'ont plus de sens dans le monde microscopique et vice versa: par exemple, on n'utilise pas la statistique de Boltzmann aux systèmes quantiques, pas plus qu'on affecte une fonction d'onde quantique ou l'inégalité de Heisenberg à la plupart des objets macroscopiques.

- Chose primordiale, faire constamment preuve d'*esprit critique*, à l'aide de ce qui précède, face à des affirmations non vérifiables. C'est le B-A-BA de l'esprit de la méthode expérimentale. Par exemple, comme indiqué dans un article du site sur les sourciers, face à ceux qui prétendent que le réflexe du sourcier traduit une sensibilité aux variations de champ magnétique infime, se demander quelle taille devrait avoir un tel capteur chez l'être humain s'il est passif ; en déduire qu'il serait énorme et que, par conséquent, un tel capteur devrait être actif (nano-aimant associé à un système neurophysiologique de traitement du phénomène perçu), or à ce jour les chercheurs n'ont pas trouvé un tel système chez l'homme... Par la même occasion, en utilisant la méthode du point focal, en profiter pour creuser ces notions de nano-aimants, de champ magnétique terrestre et facteurs le modifiant localement, etc., etc...

- Ne pas oublier les *applications pratiques* des notions rencontrées : très souvent cela permet de voir à quel point un objet pratique fait appel, est la convergence, d'une multitude de notions scientifiques et techniques. Grâce à cette démarche, on voit comment coexistent les différents aspects sous lequel l'objet peut être décrit, quelles sont leurs limites mutuelles, comment elles s'influencent : idéal pour *établir des passerelles* ! On peut recourir pour cela à l'analyse fonctionnelle des systèmes, employée en conception. Réfléchir sur un objet nécessite alors un certain niveau d'exhaustivité des phénomènes qui le concernent et dont l'étude relève de domaines différents. Exemple : une simple canalisation de gaz est confrontée à des problèmes de tenue mécanique (domaine résistance des matériaux), compte tenu des propriétés du fluide qu'elle véhicule (domaine mécanique des fluides et thermodynamique), et des problèmes de dégradation comme la corrosion (domaine électrochimie), avec à la clé des questions sur la sécurité, comment la surveiller, l'instrumentaliser, etc. sans parler des contraintes économiques et industrielles; tous ces aspects vont rejaillir les uns sur les autres dès que l'un d'eux bouge. Ainsi même une canalisation de gaz n'est pas si « simple » !

La recommandation précédente (« applications pratiques ») met en avant la question de la pluridisciplinarité. Être spécialiste n'est pas tant être confiné dans un outil donné. De toutes façons, en vertu du principe du point focal, le spécialiste en un outil donné de la connaissance doit pouvoir faire les liens avec d'autres domaines par les développements arborescents des notions employées par l'outil. Dans l'usage pratique, dans la conception et la mise en œuvre d'objets plus ou moins complexes, la spécialité à elle seule ne peut aboutir : elle doit s'insérer dans les inévitables autres spécialités avec lesquelles elle aura des interfaces dynamiques, ceci le spécialiste ne peut pas l'ignorer. La faculté d'intégrer les différents aspects de l'objet qui requièrent des compétences dans des domaines spécifiques fait appel à un savoir-faire qui est, lui aussi, une spécialité : l'intégration objet ou système, on dit aussi l'architecture. L'architecte système a pour spécialité de coordonner et d'interfacer de multiples domaines spécialisés. Il n'est pas nécessairement spécialisé en l'un d'eux mais il doit pouvoir prendre en compte, ou piloter, tous les aspects concernés. Non spécialisé dans un outil scientifique particulier, il est un spécialiste relativement à l'objet ou au système dont il a la charge, et doit savoir trouver, justifier et mettre en œuvre les compétences spécialisées pour les aspects du produit où c'est nécessaire. La maîtrise de cette vision transverse, qui fait une spécialité non pas sur un domaine d'outil de la connaissance, mais sur le produit ou le système, s'appuie sur des méthodes que j'ai esquissées ici très simplement.

Quoi de plus pluridisciplinaire qu'une automobile, un satellite, un sous-marin, un porte-avions,...

et plus généralement un système (transport, énergie, communications...) ou un système de systèmes ? Être spécialiste pour ces produits c'est posséder des compétences permettant d'interfacer, d'intégrer, de rendre transverses, de décloisonner les spécialistes de domaines. Plus humblement, toute personne (architecte ou non) ayant en charge un produit dans son niveau le plus global, doit être un spécialiste de ce produit, donc capable de raisonnements pluridisciplinaires et, par conséquent, capable d'animer les spécialistes de domaines (i. e. domaines d'outils de connaissances ou techniques). Ce n'est pas un généraliste ni un spécialiste en tout (impossible !!!), c'est un *spécialiste de l'art de passer d'un domaine à l'autre* pour pouvoir apprécier les capacités de son produit et prendre les décisions pertinentes sur l'un ou l'autre des domaines : il n'est pas seul, il sait animer avec pertinence les spécialistes. On lui demande d'avoir une vision intégrée du produit, du système, ou du système de systèmes...

3 – Veille transverse

Enfin, pour développer et maintenir des compétences dans les domaines scientifiques et techniques différents, il faut appliquer sans relâche tout ce qui précède et chercher toute occasion d'exercer sa curiosité scientifique :

- posséder et cultiver l'*esprit d'observation et d'interrogation*, même pour les plus petites choses et en toute circonstance (conférences, excursion, lectures, films, reportages,...). Par exemple, les lichens semblent privilégier un côté de l'arbre, pourquoi ? Comment a-t-on construit le viaduc de Millau ? Est-il vrai que la lune semble plus grosse à l'horizon ? Comment fonctionne le GPS ? etc., etc...

- entretenir son savoir-faire pour les outils de connaissance transverses de base, s'exercer à des problèmes, revenir n fois sur leurs présentations

- tenter d'*expliquer ce que l'on a compris à d'autres personnes* : plus calées que nous car ainsi elles contrôleront ce que nous avançons, mais aussi et surtout à des personnes non spécialistes en suscitant chez elles des questions « simples » et « naïves » (en général elles sont très pertinentes car elles nous obligent à être cohérent et concret)

- noter tout ce que l'on n'a pas compris, se le faire expliquer ou rechercher l'information où elle se trouve

- exercer et cultiver sa mémoire : non pour tout retenir par cœur (c'est impossible !), mais pour retenir au moins les définitions principales et les cheminements principaux de raisonnement

- *équilibrer, dans sa démarche, le raisonnement déductif et le raisonnement inductif*. Par la déduction, on part d'un principe connu et on tire toutes les conséquences : au final on arrive à des expériences (faites par soi-même ou non). Par l'induction, on part d'un résultat particulier, ou d'une expérience, et on « remonte » au principe général qui intègre au mieux ce résultat ou cette expérience. Le principe général définit un domaine de connaissance dans lequel d'autres expériences ou résultats différents sont des expressions de ce principe : ainsi un résultat ou expérience particuliers peuvent faire partie de la même famille d'autres résultats et expériences de natures différentes ; ceci établit des liens transverses entre domaines.

- Pour ne pas perdre trop de temps dans le détail des faits, ne pas oublier que, comme le disait Claude Bernard, ce n'est pas le fait en lui-même qui instruit, mais *la relation que l'on peut établir entre les faits*. La méthode inductive cherchera donc des faits avec lesquels un fait particulier peut être relié. La relation cherchée exploite le principe fondamental de la méthode expérimentale : le Principe d'Objectivité (article « [méthode expérimentale](#) », F. Élie), dont une conséquence est que la relation entre les faits, si elle existe, a lieu en vertu de propriétés qui doivent rester inchangées lorsque certaines conditions évoluent (invariance).

- Enfin, s'entraîner à *vérifier par la pratique* les hypothèses que l'on formule, afin de contrôler le raisonnement théorique par la sanction des faits. Par exemple, c'est Fermi, je crois, qui demandait à ses étudiants d'estimer le nombre d'accordeurs de pianos à queue existant à Chicago. Pour répondre, les étudiants évaluèrent le nombre de pianos, puis de pianos à queue à Chicago, estimèrent de combien de pianos s'occupe un accordeur en moyenne, etc. Au final, Fermi leur fit vérifier leurs hypothèses en comptant le nombre d'accordeurs sur le bottin téléphonique de Chicago...

♣ il s'agit d'une méthode que j'ai progressivement constituée, sur la base de motivations personnelles d'une part, et en différentes occasions et pour les nécessités de ma profession d'autre part. Elle n'est pas une exploitation ou une adaptation de techniques figurant dans l'abondante littérature traitant de la pédagogie des sciences en général. Si elle les rejoint pour certains points (ce que je n'ai pas vérifié), ce n'est que de manière fortuite. J'ai eu maintes fois l'occasion de mettre en œuvre ma méthode personnelle, pour des situations où il était absolument nécessaire de brasser de très nombreuses notions pluridisciplinaires au sein de systèmes complexes et faisant appel à de multiples compétences (détection sous-marine, sous-marins, propulsion nucléaire, navires de surface, trajectographie des mobiles, etc.). En chaque occasion, cette méthode a permis une adaptation rapide et opérationnelle en des domaines relevant de spécialités différentes, tant pour moi-même que pour d'autres personnes que j'ai été amené à former.