

EULER - TENTAMEN NOVAE THEORIAE MUSICAE

De nos jours, on pourrait peut-être douter avec beaucoup plus de fondement de la possibilité d'établir une théorie musicale capable d'expliquer pourquoi telle ou telle mélodie plaît ou déplaît ; car, non-seulement nous ne pouvons entendre sans une extrême répugnance la musique des peuples barbares, qui a pour eux beaucoup de charmes, mais à leur tour ces peuples ne trouvent absolument aucun agrément dans la nôtre. Cependant celui qui voudrait conclure de là que les sensations agréables que nous procure la musique, n'ont pas de cause, jugerait certainement avec trop de précipitation. La musique d'aujourd'hui étant composée de parties pour ainsi dire innombrables, on ne peut porter un jugement bien fondé, soit sur notre approbation, soit sur l'aversion des peuples barbares, qu'après avoir considéré et examiné attentivement chacune de ces parties. Si pour commencer notre jugement, nous parlons des consonnances les plus simples dont toute musique se compose, telles que l'octave, la quinte, la quarte, les tierces et les sixtes tant majeures que mineures, nous trouvons toutes les nations

parfaitement d'accord sur leur effet ; nous trouvons en outre que toutes jugent ces intervalles plus agréables à l'oreille que les dissonnances, telles que la quinte diminuée, les septièmes, les secondes et d'autres sans fin que l'on peut former. Cet accord unanime, dont il n'a été donné aucune explication et qui ne peut être attribué uniquement à l'habitude, mérite qu'on en recherche la cause véritable.

Nous laissons à d'autres de juger combien nous avons contribué à la solution d'une question que nous n'avons pas traitée dans toute son étendue ; cependant nous dirons que les préceptes qui découlent de notre théorie, s'accordent tellement bien avec la musique généralement approuvée, qu'il nous est impossible de douter de la solidité et de la vérité de nos principes. Pour obtenir cet accord nous avons rempli nous-même la tâche du physicien, et nous avons poussé nos investigations sur les véritables causes de ce qui, d'après l'opinion commune, est attribué à rendre la musique agréable ou désagréable.

La théorie de la musique est fondée sur deux principes. Le premier, qui consiste dans l'exacte connaissance des sons, appartient à la physique ; nous l'avons simplement développé dans le 1^{er} chapitre de ce traité. L'autre, puisé dans la métaphysique, a pour but de définir comment il se fait que l'ensemble de plusieurs sons simultanés ou successifs, éveille en nous le sentiment du plaisir ou de l'aversion. Conduit par le raisonnement et par l'expérience, nous avons résolu cette question, et nous avons établi que deux ou plusieurs sons produisent un effet agréable, lorsque l'oreille distingue le rapport qui existe entre les nombres des vibrations faites dans le même temps ; qu'au contraire leur effet est désagréable, lorsque l'oreille ne distingue pas ce rapport, ou lorsque celui qui semble devoir se produire, est troublé tout à coup. Ensuite nous avons exposé comment l'ordre des sons, qui consiste dans le rapport des vibrations faites dans le même temps ou dans des temps égaux, était distinctement saisi par l'oreille ; de là nous avons pu conclure qu'il y avait des rapports plus faciles à découvrir que d'autres, et, recherchant la cause de cette différence nous avons formé, pour le plus ou moins de facilité d'appréciation de ces rapports, des degrés qui n'ont pas seulement la plus grande influence dans la musique, mais qui peuvent aussi être d'une très-grande utilité dans les autres arts dont le but est de charmer nos sens.

§ 11. La seconde manière de reconnaître l'ordre se présente surtout dans la musique ; car ce n'est que lorsque nous entendons un chant, que nous pouvons saisir l'ordre qui règne entre les sons, soit qu'ils naissent simultanément, soit qu'ils se succèdent. Un chant nous plait donc, si nous reconnaissons l'ordre des sons qui le composent ; il nous déplaît au contraire, si nous ne comprenons pas pourquoi chaque son se trouve à la place qu'il occupe, et il nous déplaît d'autant plus que les sons nous paraissent s'écarter plus souvent de l'ordre suivant lequel nous croyons qu'ils devraient être disposés. Il peut donc arriver que certaines personnes aperçoivent un ordre que d'autres ne distinguent point, et qu'ainsi la même chose plaise à celles-là et déplaie à celles-ci. Mais les unes et les autres peuvent se tromper ; car il peut réellement y régner un ordre que beaucoup de personnes ne saisissent pas ; et souvent aussi quelques-unes croient reconnaître un ordre là où il n'y en a point. Telle est l'origine des jugements si divers qu'on porte à l'égard de la musique.

§ 12. Deux sons étant donnés, nous connaîtrons la relation qui existe entre eux, si nous pouvons saisir le rapport du nombre de vibrations effectuées pour l'un, au nombre de vibrations effectuées pour l'autre dans le même temps. Par exemple, s'il se faisait 3 vibrations pour le premier, pendant que pour le second il y en aurait 2, nous connaîtrions leur relation et par conséquent leur ordre, en observant le rapport des nombres 3 et 2 qui est 3 : 2. Il en serait de même si au lieu de deux sons, il fallait en comparer un plus grand nombre. Une autre source d'agrément résulte aussi de la perception des rapports entre les durées des sons, susceptibles également d'une expression numérique. Il est donc clair que tout plaisir que nous fait éprouver la musique, doit son origine à la connaissance des rapports de plusieurs nombres entre eux.

§ 13. Pour faire mieux comprendre comment on reconnaît l'ordre ou le rapport de deux ou de plusieurs sons, nous allons tâcher d'en faire pour la vue une figure semblable. Nous représenterons les vibrations qui frappent l'oreille, par des points placés en ligne droite, et dont les intervalles correspondront aux intervalles des vibrations, ainsi que la disposition ci-contre en offre des exemples. De cette manière deux sons égaux, c'est-à-dire deux sons qui ont le même degré de grave ou d'aigu pendant toute leur durée, seront représentés par deux suites de points équidistants, comme dans la figure 1.

Dans ces suites le rapport de l'égalité se manifestant partout aux yeux, il n'y a pas de doute qu'on ne puisse comprendre avec la plus grande facilité l'ordre qui règne entre elles. Des sons égaux ou l'unisson, suivant l'expression ordinaire, constituent donc le premier et le plus simple degré de l'ordre ; nous le nommerons le premier degré d'agrément : il est exprimé ou métriquement par le rapport 1 : 1.

1 Fig. 1.

2 Fig. 2.

3 Fig. 3.

4 Fig. 4.

5 Fig. 5.

6 Fig. 6.

7 Fig. 7.

8 Fig. 8.

9 Fig. 9.

APPROCHE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE PAR L'HISTOIRE DES SYSTEMES-EXPERTS

Stéphane CALLENS

Pourquoi faire compliquer quand on peut faire simple ? L'histoire des systèmes-experts est un moyen rapide et efficace pour accéder à la compréhension des notions de base de l'Intelligence Artificielle et de saisir l'intérêt des débats qu'elle suscite.

Cette histoire peut être résumée en trois phases :

- au début des années 1970, apparaissent les systèmes-experts, vénérables ancêtres des systèmes ultérieurs : le DENDRAL de Buchanan (1969), le MYCIN de Shortliffe (1974).

- les années 80 font émerger une liste d'applications réussies et l'accès aisé à des Générateurs de Systèmes-Experts hybridant les solutions développées antérieurement.

- enfin, les développements actuels, dits de seconde génération, prolongent cette optique d'hybridation à propos d'une question particulière : il s'agit de trouver la meilleure coopération de différents types de raisonnement pour résoudre un problème.

L'histoire des systèmes-experts est une histoire vivante et ouverte. Chaque nouvelle entreprise en Intelligence Artificielle entraîne une relecture critique des modèles "historiques" de systèmes-experts, le développement d'un projet important fait repasser à chacune des phases de cette histoire. Elle constitue même une alternative attrayante pour l'enseignement de l'Intelligence Artificielle, ainsi dégagé de longs préalables de Logique et de débats mal posés.

Nous proposons ici un bref résumé de cette histoire, détaillée en trois époques. Un exemple récapitulatif essaiera de faire percevoir les différentes approches suivies.

S O M M A I R E

1 - ANNEES 70 : LES ANCETRES DENDRAL ET MYCIN

L'Intelligence Artificielle a donné lieu à des définitions diverses, essayons de regarder en coulisse, du côté de ceux qui la mettent en oeuvre dans des applications pratiques. Cela amène à se tourner vers les systèmes experts, une IA sans qualité apparue incidemment vers 1970, alors que d'autres poursuivaient le rêve cybernétique, mythe fondateur de l'Intelligence Artificielle.

DENDRAL et MYCIN constituent la première époque des systèmes-experts. Leurs réussites se retrouvent dans les succès ultérieurs. Ils s'occupent de questions délimitées, l'un maîtrisant une explosion combinatoire, l'autre créant une trace dans un marais conjecturel.

2 - ANNEES 80 : ENCYCLOPEDIE DES MOEURS D'EXPERTISE

La multiplication des systèmes-experts s'est faite selon le principe mimétique : le système reproduit la manière de faire de l'expert. Un système-expert d'entraînement à la vente est bavard et non-paramétré, un système-expert comptable est d'une prudence toute comptable, tandis que les systèmes-experts médicaux sont souvent conservateurs, préférant stabiliser les acquis d'un enseignement que s'aventurer dans une recherche nouvelle.

3 - DEVELOPPEMENTS RECENTS

Comment cumuler les diverses approches d'un même problème ? Cette question est au coeur des réalisations présentes. Les systèmes-experts dits de seconde génération hésitent entre l'imitation d'un processus d'expertise et de décision et d'un processus dans l'ordre des phénomènes observés.

4 - RECAPITULATION

Un expert, un phénomène : faire au mieux le suivi du phénomène semble être la bonne combinaison du mimétisme et de la performance, les deux principes premiers des systèmes experts.

1 - ANNEES 70 : LES ANCETRES DENDRAL ET MYCIN

1.1 Préambule : Qu'est-ce qu'un système-expert ?

Qu'est-ce qu'un système expert ? Niklaus Wirth a donné l'équation "**données structurées + algorithmes = programme**" comme définition de la programmation structurée. Le système-expert répond à une autre équation qui serait "**données structurées + moteur d'inférence + base de règles = programme**". L'acte fondateur des systèmes experts a probablement été, lors de la rédaction d'un très long programme en FORTRAN, la séparation mise entre un module qui exploite des informations issues d'un dispositif de mesure, et un autre module contenant des connaissances relatives au domaine étudié. Le premier module sera appelé "*moteur d'inférences*" et le second "*base de règles*". Les règles sont des clauses "IF... THEN..." qui sont déclenchées par le moteur d'inférences selon un enchaînement dépendant de la configuration particulière des données fournies. Une caractéristique qui différencie un système-expert d'un algorithme classique est le nombre plus grand de cheminements possibles à l'intérieur d'un ensemble de clauses "IF... THEN...". Le système-expert pourrait donc être caractérisé par l'explosion combinatoire de ce nombre de cheminements.

D'une certaine manière, l'acte fondateur des systèmes-experts est probablement celui de ce programmeur en FORTRAN rédigeant un très long programme qui se rend compte qu'il ne pourra pas suivre par le menu tous les cheminements de l'exécution de son programme, et qui va chercher une astuce telle qu'il garde la maîtrise sur l'exécution de l'immense lot d'instructions qu'il est en train de créer. Cette astuce va être la séparation d'un moteur d'inférence et d'une base de règles. Le moteur d'inférences génère la trace de ce cheminement lors d'une exécution du programme : le programmeur a contrôlé la génération régulière de cette trace, et non l'immense nombre de traces possibles, ce qui est de toutes façons matériellement impossible même pour des programmes très courts relativement à la longueur habituelle des systèmes-experts.

1.2 Moins de logique, plus de physique

L'acte fondateur des systèmes-experts n'est pas que ce geste négatif de l'abandon d'un contrôle logique tatillon de l'exécution d'un programme. Il comporte le geste positif de se référer à un phénomène -en l'occurrence, il s'agissait de combinaisons moléculaires- sur lequel le programmeur, ou un expert, possède un stock de connaissances.

Si l'on appelle "*physique*", le fait de se référer à un stock constitué de connaissances pour analyser un phénomène précisément déterminé et mesuré, il est certain que l'acte de création des systèmes-experts (le système-expert DENDRAL) a été une sorte de troc entre la logique et la physique. Il est plus intéressant de mettre en forme correctement les connaissances sur un domaine pour traiter une question, le respect d'une grammaire simple de programmation assurant par ailleurs la bonne exécution du programme.

1.3 DENDRAL et MYCIN

DENDRAL et MYCIN constituent les deux principaux ancêtres des systèmes-experts développés ultérieurement. Les deux questions traitées par ces deux programmes le sont pour des domaines structurés de façon toute différente. DENDRAL cherche à déterminer la configuration d'une molécule à partir de la formule brute. Ainsi, la formule brute de la molécule $C_{20}H_{43}N$ correspond à 43 millions de configurations possibles; les règles de valence réduisent ce nombre à 15 millions. La connaissance des modèles de fragmentation moléculaire, puis la recherche heuristique des structures stables et donc les plus probables, permettent encore de réduire ce nombre à environ 1 million de possibilités. Enfin grâce au spectre de résonance magnétique nucléaire, DENDRAL peut réduire ce nombre à l'unité en proposant une configuration moléculaire unique. DENDRAL procède à un élagage d'un arbre de combinaisons (les différentes configurations moléculaires possibles) en des étapes successives dont les principaux sont l'exploitation de données issues de procédures lourdes de mesures de laboratoire, la spectrométrie de masse et la résonance magnétique nucléaire. DENDRAL permet la synergie automatique de l'explo-

tation de ces mesures, et intègre la procédure intellectuelle routinière des opérateurs de laboratoire, les dégageant ainsi d'une tâche assez fastidieuse.

MYCIN tire son nom d'une famille de médicaments antibiotiques utilisés pour les maladies infectieuses. Le problème traité est la décision à prendre à l'admission en urgence pour une maladie infectieuse du sang ou une méningite, alors que l'agent infectieux n'est pas précisément identifié. Il s'agit donc ici, dans un contexte d'urgence, de tirer le meilleur parti possible des premiers indices dont le médecin dispose sur une maladie. Le médecin a devant lui, en quelque sorte, un marais conjecturel dans lequel il ne peut séjourner vu le caractère grave de la pathologie infectieuse. Pour le cas de la méningite, il existe une erreur funeste qui consiste à prendre une méningite bactérienne (nécessitant immédiatement un traitement antibiotique vigoureux) pour une méningite virale, le parcours rapide du marais conjecturel doit se faire en évitant absolument l'erreur funeste. MYCIN est le prototype de la plupart des systèmes-experts cherchant à tirer le maximum d'un phénomène uniquement accessible à travers des indices ou un ensemble symptomatique.

2 - ANNEES 80 : ENCYCLOPEDIE DES MOEURS D'EXPERTISE

De MYCIN, on a soustrait l'ensemble des règles spécifiques afin de réaliser une maquette neutre appelée EMYCIN permettant d'autres réalisations. Cette maquette neutre accompagnée d'outils annexes constitue un "*atelier*" de programmation, désigné sous le terme de "*Générateur de Système-Expert*" (GSE). Ces GSE ont été diffusés dans les années 80 et ont conduit à de nombreux projets de systèmes-experts.

2.1 Le mimétisme de l'expert

La liste des S.E. réalisés est longue, mais relativement modeste en comparaison de celle des G.S.E. Les grands classiques sont dans le diagnostic de panne (disons les garagistes), la formulation d'un diagnostic à partir d'analyses de laboratoire ou une revue rapide de symptômes (les toubibs) et l'analyse financière (les comptables).

Mais il y a aussi des S.E. aiguilleurs pour les gares, des S.E. pour le réglage automatique des robots, eux-mêmes intervenant dans des domaines très divers. Les réalisations restent souvent au stade expérimental, mais pour des réticences propres à toute application informatique. Si DENDRAL a été le premier succès, c'est qu'il s'adresse à un public de chercheurs habitués à une instrumentation mélangeant l'abstraction à un insaisissable réel.

Plutôt le mimétisme que la performance : le vendeur a fait un expert-vendeur, le médecin a fait un expert-médecin, le technicien a fait un expert-technicien. Mais une glissade vers l'avant se produit ; ce savoir expert mis sur le papier est bien maigre, certains moins respectueux envers les "*experts*" vont donc chercher à aller plus loin. La démarche "*performance*" qui apparaît alors -on cherche moins à imiter un expert que de porter le meilleur jugement possible- rencontre des limites : une non-réduction de l'erreur funeste pour montrer alors matériellement la limite de l'entreprise S.E.

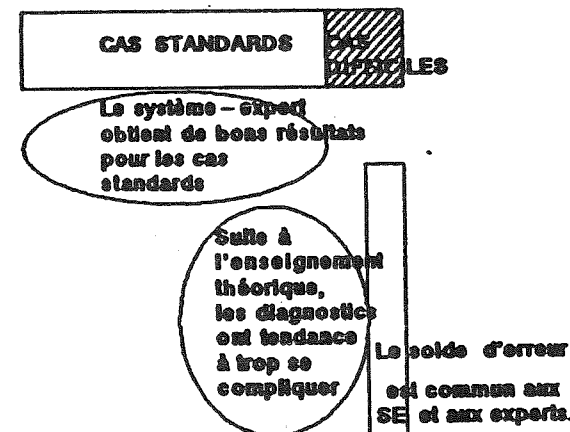
2.2 La non-réduction de l'erreur funeste (Discussion de MENINGE, système-expert pour les méningites infantiles, d'après C. ROBERT 1989).

A partir de dossiers de méningites (329 cas), le prototype du SE a donné 82 % de bons diagnostics. Après une première phase de développement, on a obtenu 85 % de bons diagnostics. Il s'est avéré ensuite difficile de dépasser ce cap des 85 %, tout en gardant la règle impérative de ne pas introduire d'erreurs funestes. Les conseils thérapeutiques fournis par la machine ont été calculés pour fournir moins d'erreurs qu'il y en a eu dans la réalité. Au total, on retrouve deux caractéristiques des S.E. médicaux :

- le solde d'erreurs funestes résiste; difficiles sont les gains de ce côté.
- le S.E. réduit la dispersion des jugements pour les cas standards

Le système a été mis à la disposition des internes en complément de l'enseignement théorique et clinique. En pratique, on peut penser que l'avantage de cette installation est de donner une pondération à un enseignement théorique. Le S.E. ne fait qu'exploiter

un capital de connaissances : celui-ci, en l'état de l'art, laisse subsister un solde d'erreur funeste. Le bilan mitigé de MENINGE se retrouve dans beaucoup de S.E. médicaux : les meilleurs experts se trompent, le S.E. aussi.



3 - DEVELOPPEMENTS RECENTS

3.1 Le retour du phénomène ?

Kulikowski [Artificial Intelligence methods and systems for medical consultation, IEEE Trans. PAMI, 1980] avait distingué deux grandes approches dans les S.E. médicaux : l'approche "mimétique" de l'expert et l'approche "performance". Dans l'approche "mimétique" de l'expert, le but est de tenter d'égaler les processus de raisonnement humain en le suivant au plus près. Dans l'approche "performance", le S.E. est jugé uniquement sur ses résultats, la qualité du jugement produit.

Dans les S.E. de seconde génération, c'est le grand retour du phénomène. Imiter un expert, c'est s'auto-limiter, c'est ne pas avoir l'outrecuidance de faire mieux. L'approche "performance" ne s'impose pas dès le départ ce plafonnement, elle reste limitée à un petit gain obtenu par une utilisation astucieuse des données, des procédures, et des connaissances connues. Focalisé sur l'expert ou les procédures améliorantes du "rendement" de l'expertise, le phénomène avait été le grand oublié. Les écrans se chargent donc de tous les "modèles" en complément de la désormais traditionnelle base de règles. Le plombier-I.A. dispose de nombreuses représentations du chauffage central en panne : des procédés de programmation développés dans les années 70 et 80 permettent cette sophistication des écrans. Reste qu'il faut coordonner les experts ou les modèles. Les tentatives de recourir à la coalition des experts par des procédures standards semblent peu concluantes : la récente thèse de Luc Buisine conclut en ce sens. Reste le phénomène lui-même, l'accrochage des différents modèles sur ce mannequin mouvant.

L'évolution va aussi, par exemple, pour un même robot-liseur de liasse fiscale (une tâche intellectuelle peu noble qui peut être mise sur machine), du schéma vertical Expert → Opérateur au schéma circulaire du "si je fais cela qu'est-ce qui se passe ?" ou "ne pourrait-on pas penser cela ?".

On peut penser qu'il s'agit d'une évolution positive du Prêt-à-Penser à l'Aide-à-Penser.

3.2 Un vainqueur : le génie logiciel

Partons des pratiques : untel utilise un GSE pour prototyper une machine algorithmique, un autre cherche à combiner des procédures IA et de l'Analyse des Données, etc... Elles sont très variées et ne cessent de passer et de repasser une frontière imaginaire entre les procédures IA et les procédures algorithmiques "classiques". Le sentiment est plutôt celui d'une unité du génie logiciel : les phases de développement d'un SE sont équivalentes à celles d'une procédure algorithmique pure. Tout est bon et l'important est

d'être prompt à changer le fusil d'épaule (passer *algo* → IA ou IA → *algo*) au cours d'un développement. L'hybridation se voit aussi bien du côté *algo* (les langages orientés objets, par exemple) que du côté IA (les langages IA se structurent : certains ont baptisé le Turbo-Prolog, le Paslog, par l'influence de la programmation structurée type Pascal). Le génie logiciel est un : en affirmant cela des priorités s'installent. Plutôt l'IA-informatique que l'IA-cognitiviste pour reprendre la distinction de Farreny mise en préambule, plutôt l'orientation "performance" - la meilleure qualité de jugement - que l'orientation "mimétique" - imitons les hallucinations de l'expert. Le cerveau humain aurait en effet un fonctionnement plutôt hallucinatoire qu'algorithmique, s'il faut le qualifier (si c'était l'inverse, l'apprentissage des mathématiques se ferait tout seul, et chaque enseignant ne serait que l'inutile témoin d'un ballet harmonieux avec des entrechats mathématiques aussi faciles qu'élégants). A une thèse cognitiviste (un fonctionnement rationnel du cerveau naturellement très supérieur à toute démarche construite), il faut semble-t-il préférer une thèse mélioriste. Il y a fort à parier que le cerveau n'a que des capacités limitées (petits tests : citez trois numéros de téléphone ? Avez-vous détruit le billet avec les 4 chiffres secrets de votre carte bleue ?), et vouloir l'imiter à toutes fins, fût-il celui d'un expert, n'est pas apparu comme ce qu'il y avait de mieux à faire. Pour manipuler correctement un ensemble de concepts, une procédure IA peut être une aide ou un inconvénient, le tout est de mieux percevoir quand on se situe dans ce premier cas, et cela se fait par des raisonnements qui constituent le génie logiciel. Ces raisonnements se basent d'abord sur l'état de la question à traiter. A partir de là, le choix se fait selon un principe mélioriste : faire au mieux au niveau de l'approche, s'aider d'une instrumentation IA utile dans certains cas, superflue dans d'autres. Cette utilité peut sembler bien dérisoire : mais un robot dépouillant les liasses fiscales le fait mieux qu'une personne dont l'intérêt pour la tâche va fléchir au bout du n^{ième} dossier. La machine va donner un certain nombre de critères et de paramètres : elle doit, dans une utilisation attentive par l'opérateur, permettre l'enrichissement des bases du jugement.

Ainsi, la promotion du génie logiciel, retourne l'expression "Intelligence Artificielle" : au départ, il s'agissait d'imiter un cerveau humain supposé marcher excellemment. Aujourd'hui, l'expression désignerait plutôt une instrumentation, un aiguillon pour des capacités humaines nécessairement limitées. Le rêve cybernétique peut encore fournir matière à livre. Essayons plutôt de nous améliorer nous-mêmes, avec le cas échéant, des instruments étranges, aides-à-penser ou pantographe spirituel.

4 - RECAPITULATION (Un exemple récapitulatif pour l'histoire des SE)

Au départ donc : il y a un expert, et un phénomène. Une question à résoudre également : prenons celle de l'évaluation du risque volcanique [Cf. l'article de *La Recherche* ci-joint qui fournit un certain nombre d'informations à ce propos].



PHENOMENE



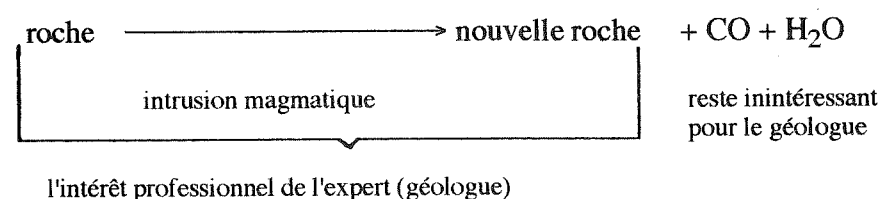
4.1 Première phase: DENDRAL ET MYCIN

DENDRAL est plus riche que ce que ses auteurs en ont dit. On a retenu des premiers S.E. l'idée d'utiliser le savoir-faire de l'expert pour avoir une évaluation. DENDRAL est aussi un montage intégrant deux procédures importantes (spectrographie de masse, résonance magnétique nucléaire). A suivre les propos des concepteurs, pour notre question d'évaluation du risque volcanique, il suffirait de transférer les règles de l'expert sur une base de règles.

Dans une première phase de développement de notre hypothétique logiciel d'évaluation du risque volcanique, nous recueillons les règles d'un expert fort connu.

4.2 Deuxième phase : les G.S.E

Les experts vulcanologues sont géologues de formation. Leur intérêt est souvent focalisé sur certains points différents de ceux qui vous intéressent directement dans votre élaboration de logiciel. Sur la même équation chimique :



Sauf, que pour l'évaluation du risque volcanique, le métamorphisme en soi est peu intéressant. Des paramètres de viscosité et de vitesse de l'intrusion sont par contre déterminants : et vous devez reprendre les calculs des "restes" du métamorphisme, parce qu'ils vont intervenir dans l'évaluation du risque volcanique.

L'intérêt de l'expert est toujours un peu décalé par rapport au projet lui-même. Il conviendrait donc de se donner les matériaux utiles. Il vous faudra de quoi suivre un bilan hydrologique et gazeux, et aussi mettre un peu d'ordre dans les diverses éruptions historiquement connues.

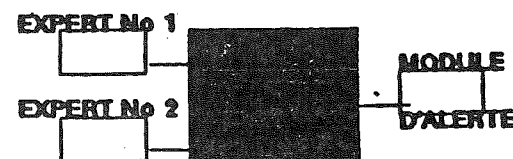
Un SE peut faire une classification succincte des sites et des processus éruptifs, la classification existante distinguant par site et processus. Dans cette seconde phase, vous vous êtes rendu compte des limites de l'expertise, celle-ci, en particulier dans le domaine volcanique, n'intègre pas une véritable quantification des risques et une exploration stratégique des possibles.

Un petit module d'alerte a pu être réalisé sur le modèle de ce qui a été fait au Piton de la Fournaise : quelques seuils ont été installés. Si plusieurs d'entre eux sont franchis, l'alerte est donnée.

4.3 Troisième phase: S.E. seconde génération

Si vous coupez les experts, vous vous rendez compte que cela ne donne pas grand chose. Deux vulcanologues ensemble, la situation risque de devenir explosive.

L'architecture "Tableau Noir" permettrait de concilier les points de vue de façon moins dangereuse:



Pour le cas qui nous intéresse ici, il y a probablement mieux à faire. Certains SE médicaux réactualisent leurs évaluations au fur et à mesure du déroulement de la maladie. Une telle architecture pourrait fournir aux dates t_n , une évaluation de la probabilité des différents scénarios éruptifs. Le calcul important préalable est celui du meilleur agencement des données recueillies.

Celles-ci sont de trois ordres :

- 1- La micro-sismicité. Cela permet de suivre le cheminement de l'intrusion et de phénomènes annexes (arrivée de gaz dans les conduits qui se signalent par les trémies).
- 2- Les mesures géodésiques : elles rendent compte des déformations superficielles.
- 3- Les mesures du champ magnétique. Elles fournissent un indice pré-éruptif. Mais il est de faible croissance ($2nT$) alors que la variation quotidienne due à l'activité solaire est de $70nT$.

Une tomographie sismique permet d'avoir le modèle à coupler avec le S.E. travaillant à partir de la banque des scénarios possibles. Quant aux mesures du champ magnétique, c'est-à-dire des données qui ne donnent que des indices, un module approprié peut essayer d'en tirer quelque chose, module intégré au fonctionnement du SE. L'écran final serait l'imagerie micro-sismique + la distribution probabilitaire des scénarios possibles.

CONCLUSION

Une tâche : Rédiger des *éléments* d'informatique.

La diffusion du travail des programmeurs est limitée par les connaissances en ressources de programmation répandues dans le public. L'intégration dans l'enseignement général de ces connaissances construites en reste encore bien souvent au stade du souhait.

Une réflexion sur le cahier des charges d'une rédaction d'*éléments* d'informatique devrait être reprise en intégrant les développements récents. L'effort pour la simplicité, est effort qui conduit à la rédaction d'*éléments*, ne me paraît pas démesuré en ce domaine. En tout cas, l'histoire des mathématiques témoigne de réalisations bien plus considérables. Simplicité autour de l'informatique comme instrument de "physique", de rapport au monde environnant pris dans sa multiplicité, multiplicité apaisée par le fait que l'on puisse la saisir par cette instrumentation nouvelle. Le nombre est comme une foule dans laquelle on sait distinguer, disait Euclide nous invitant à fréquenter la multiplicité aimable du monde.

Aujourd'hui, une invitation équivalente peut être faite, à propos des ressources nouvelles en programmation.