

**Application des techniques de l'intelligence artificielle à
la géoprospective: le projet Expect - Application of
Artificial Intelligence techniques to géoprospective: the
Expect project**

Manuel Garcin, Pierre Godefroy, Abdelkrim Djerroud, Marie-Christine
Rousset

► **To cite this version:**

Manuel Garcin, Pierre Godefroy, Abdelkrim Djerroud, Marie-Christine Rousset. Application des techniques de l'intelligence artificielle à la géoprospective: le projet Expect - Application of Artificial Intelligence techniques to géoprospective: the Expect project. Colloque Géoprospective - UNESCO, 1994, Paris, France. 6 p. hal-00562499

HAL Id: hal-00562499

<https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-00562499>

Submitted on 3 Feb 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Application des techniques de l'intelligence artificielle à la géoprospective: le projet Expect

Application of Artificial Intelligence techniques to géoprospective: the Expect project

M. Garcin¹, P. Godefroy², A. Djerroud³, M.C. Rousset³

RESUME

Les difficultés de l'approche géoprospective résultent de la diversité et de la nature des connaissances phénoménologiques accumulées, de la nécessité de garantir la compatibilité des hypothèses introduites dans les scénarios d'évolution future, et enfin de la nécessité de substituer à une suite d'états discontinus du système considéré, une description de son évolution progressive.

Ces contraintes, bien spécifiques, ont conduit le BRGM à s'intéresser aux techniques de l'Intelligence Artificielle et du raisonnement qualitatif dans le but de les mettre en oeuvre en géoprospective; c'est l'objet du projet Expect (EXpert system applied to the prediction of the site Evolution Context), mené en collaboration avec le Laboratoire de Recherche en Informatique de l'Université d'Orsay.

Plusieurs spécificités du domaine de la géoprospective ont guidé le choix de ces techniques:

- un scénario peut être vu comme une chaîne de causalité débutant par l'émission d'hypothèses vraisemblables d'occurrence de phénomènes, fondées sur la connaissance de l'histoire climatique et géologique passée. C'est un problème multi-experts ;
- la géoprospective s'appuie surtout sur une vision qualitative des phénomènes; Cela tient au type de connaissances manipulées (souvent empiriques et interprétatives) et à la complexité du domaine. S'il est possible d'établir qu'un phénomène en influence un autre et dans quel sens, cette connaissance ne peut généralement se traduire par un modèle numérique correspondant précis;
- les données quantitatives utilisées sont souvent entachées de fortes incertitudes qui vont croissantes avec le temps;
- pour de nombreux paramètres, il existe des valeurs remarquables (éventuellement sous forme d'intervalle) qui, associées au sens de variation du paramètre, fournissent une information pertinente sur l'évolution du système.

Cette communication présente les principaux concepts associés à cette technique, une taxonomie des connaissances manipulées en géoprospective, le formalisme mis au point et les modalités de mise en oeuvre d'un tel système.

Afin d'illustrer les points précédents, quelques exemples seront présentés.

ABSTRACT

Difficulties in the géoprospective approach arise from the diversity and nature of accumulated phenomenological data, the necessity of guaranteeing compatibility between hypotheses introduced into scenarios of future evolution, and finally from the necessity of substituting, for the system considered, a train of discontinuous states by a description of its progressive evolution .

These specific constraints have led BRGM to consider using techniques of Artificial Intelligence and qualitative reasoning in the field of géoprospective; this is the aim of the Expect project (EXpert system applied to the prediction of the site Evolution Context) being carried out in collaboration with the Laboratoire de Recherche en Informatique (Informatics Research Laboratory) of the University of Orsay.

Several specificities in the field of géoprospective have guided the selection of these techniques:

- *A scenario can be considered as a chain of causality beginning with likely hypotheses concerning the occurrence of phenomena, founded on knowledge of past climatic and geological history. It is a multi-expert problem.*
- *Géoprospective is based, above all, on a qualitative vision of phenomena; this is related to the type of data manipulated (often empirical and interpretative) and the complexity of the field. Although it is possible to establish that one phenomenon has an influence on another, and in what way, this knowledge cannot generally be translated into an exactly corresponding numerical model.*
- *The quantitative data used are often marred by uncertainties that increase with time.*
- *Numerous parameters have notable values (which may be expressed as intervals) that, associated with the direction of parameter variation, provide pertinent information on the evolution of the system.*

This poster presents the main concepts associated with this technique, a taxonomy of the knowledge that is manipulated in géoprospective, the formalism developed and the modalities for using such a system.

A few examples are given to illustrate these points.

1 BRGM SGN UPE RNG Av de Concyr BP6009 45060 Orléans cedex 2 France

2 BRGM SGN UPE RNG 117 av. de Luminy 13009 Marseille France

3 LRI bat 490 Université Paris XI 91405 Orsay cedex France

INTRODUCTION

Tout site géologique subit une évolution naturelle résultant de l'occurrence de phénomènes climatiques, géomorphologiques et géologiques. L'approche géoprospective vise à élaborer des scénarios vraisemblables et cohérents de cette évolution et à en évaluer leurs conséquences. La géoprospective s'appuie donc sur les méthodes et les connaissances des Sciences de la Terre : l'étude des phénomènes passés permet d'extrapoler dans le futur les tendances qu'ils définissent et de caler des modèles qui en fournissent une représentation satisfaisante et réaliste. Sa mise en oeuvre passe par les étapes suivantes :

- 1 - la description de l'état initial du site : caractéristiques actuelles et histoire récente (derniers millions d'années), à considérer à l'échelle locale (massif hôte), régionale (ex. : bassin versant) et supra-régionale (ex. : contexte sismotectonique),
- 2 - l'inventaire des phénomènes pouvant provoquer et influencer l'évolution du site. Il s'agit d'en apprécier l'importance, de décrypter leurs interactions et de prendre en compte leur dépendance du temps, pour définir des enchaînements cohérents des processus impliqués. Ainsi la géoprospective ne prétend pas prédire l'avenir mais définir des futurs plausibles dont les conséquences pourront être prises en compte.

Les difficultés de l'approche géoprospective résultent de la diversité et de la nature des connaissances phénoménologiques accumulées, de la nécessité de garantir la compatibilité des hypothèses introduites dans les scénarios d'évolution future, et enfin de la nécessité de substituer à une suite d'états discontinus du système considéré, une description de son évolution progressive.

Ces contraintes, bien spécifiques, ont conduit le BRGM à s'intéresser aux techniques de l'Intelligence Artificielle et du raisonnement qualitatif dans le but de les mettre en oeuvre en géoprospective; c'est l'objet du projet Expect (EXpert system applied to the prediction of the site Evolution Context), mené en collaboration avec le Laboratoire de Recherche en Informatique de l'Université d'Orsay.

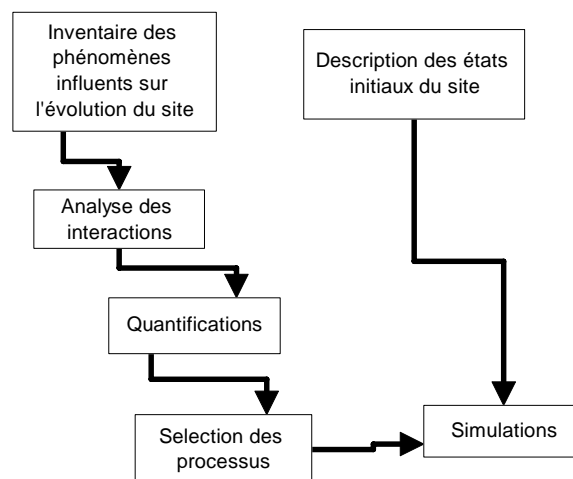


Figure 1: Elaboration des scénarios

INTERET DES TECHNIQUES D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (IA) : LE RAISONNEMENT QUALITATIF

Le projet EXPECT a pour objectif l'élaboration d'un système basé sur une multi-expertise permettant de construire des *scenarii* d'évolution de la géosphère. Les techniques retenues ont été guidées par plusieurs spécificités de ce domaine:

- 1 - La démarche géoprospective est fondée sur la **connaissance** de l'histoire géologique passée, il s'agit d'un problème **multi-expert** dans lequel des disciplines aussi différentes que la paléoclimatologie, la géomorphologie ou la tectonique sont impliquées,
- 2 - la géoprospective s'appuie surtout sur une vision **qualitative** des phénomènes. Cela tient au type de connaissances manipulées (parfois empiriques et souvent interprétatives) et à la complexité du domaine. S'il est possible d'établir qu'un phénomène en influence un autre et dans quel sens, il ne peut pas toujours être fourni de modèle numérique correspondant (ex. : "une baisse du niveau marin entraîne une reprise de l'érosion continentale"),
- 3 - les données quantitatives utilisées sont souvent entachées de fortes incertitudes qui vont croissantes avec le temps.

Le raisonnement qualitatif, qui est un domaine de l'I.A., permet d'exploiter ce type de connaissances. Il s'appuie sur un formalisme approprié pour expliciter les liens de causalité entre les phénomènes et valoriser les informations quantitatives disponibles dans un contexte qualitatif (c'est-à-dire comme des approximations de valeurs réelles et des indicateurs plutôt que comme des valeurs significatives dans l'absolu). Ainsi la courbe d'évolution future d'un paramètre du site (ex. : son altitude), qui ne peut être déterminée avec précision, sera approchée par une fonction linéaire affine par morceaux, où les points d'inflexion traduisent l'occurrence d'un "événement", c'est-à-dire à une date significative pour le scénario (dépendant d'autres phénomènes : variations du niveau marin, modification de la vitesse d'érosion, etc.), un changement du sens ou de la vitesse de variation du paramètre considéré.

TYPOLOGIE

Deux types de concept ont été distingués : les **paramètres** et leurs **interactions causales**. Les paramètres peuvent être des **phénomènes** ou des **variables**. Les phénomènes peuvent être considérés, à l'échelle de temps des études géoprospective, comme progressifs (érosion, glaciation, isostasie glaciaire etc.) ou brusques (rejeu de faille, séisme etc.). Les phénomènes progressifs sont caractérisés par une "vitesse moyenne de variation" et s'ils sont brusques par la modification "instantannée" des variables qu'ils influencent. Les **variables** sont soit propres au site (altitude, perméabilité etc.) soit en dehors.

FORMALISME

Quatre types principaux de liens de causalité entre paramètres ont été identifiés (fig.2) :

- 1 - influence d'un phénomène sur une variable, dite "par dérivation" (notée DERIV) ou "par dérivation conditionnelle" (CDERIV). Ex. : l'érosion diminue l'altitude,
- 2 - lien entre deux variables, dit "par proportionnalité" (noté PROP) ou "par proportionnalité conditionnelle" (CPROP). Ex. : l'altitude varie avec le niveau de la mer,
- 3 - l'évolution d'une variable déclenchant un phénomène (noté DECL) ou "par déclenchement conditionnel" (CDECL). Ex. : enfoncement isostatique lorsque l'épaisseur de glace atteint un certain seuil.
- 4 - évaluation d'une variable par calcul (noté EQUA).

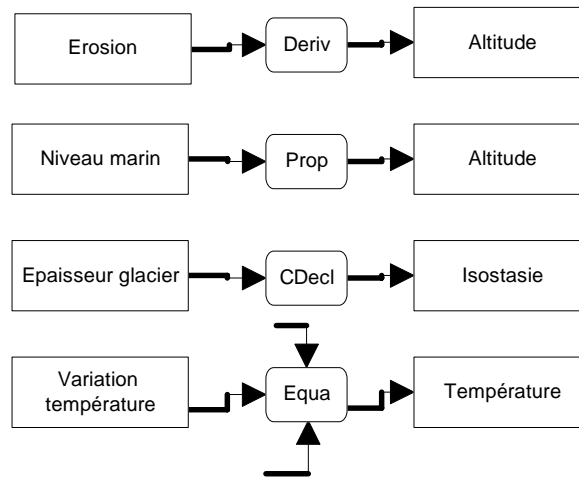


Figure 2: Formalisme des liens causaux

Ces influences peuvent être contrôlées par des conditions d'activation ou de désactivation, souvent liées à la localisation du site par rapport à l'extension des phénomènes et explicitées dans le modèle (DJERROUD *et al.*, 1992).

GRAPHE CONCEPTUEL

La structure globale du modèle repose sur la construction de graphes d'influences (ou graphe conceptuel, fig.3) comportant des noeuds (les paramètres) reliés par des arcs (liens de causalité). L'évolution d'un paramètre dans le temps est représentée par approximation, par un historique, soit une fonction linéaire affine par segments, construite graduellement à partir de la séquence des états qualitatifs du paramètre (c'est-à-dire le couple : valeur du paramètre, direction de variation). On ne prétend donc pas simuler une évolution "réelle" (qui ne peut être déterminée avec précision) mais simplement représenter des tendances d'évolution plausibles (qui peuvent, elles, être "extirpées" du type et du de degré de nos connaissances).

Pour simplifier dans un premier temps et tester la démarche, on s'est actuellement limité aux phénomènes à effets progressifs et à leur impact à l'échelle du site. Les liens de causalité résultant de la localisation du site par rapport à l'extension de certains phénomènes peuvent être introduits sous forme de préconditions à l'instanciation du graphe, en certains noeuds.

L'accent a été mis sur la composante temporelle du problème, soit la propagation des historiques le long des arcs du graphe. Une difficulté majeure de la géoprospective est, en

effet, de bien intégrer la chronologie relative des phénomènes, compte-tenu de leurs multiples interactions. Les simulateurs tel CASTOR (CANCEILL et *al.* 1985), qui fournissent une description itérative du système à un pas de temps fixé à l'avance n'apporte pas de solution optimum. Dans notre modèle, les noeuds du graphe représentent des "sommations" d'influence et les arcs, des contributions. Son originalité est d'exploiter une simulation dirigée par les événements (DJERROUD et *al.*, 1993). C'est l'occurrence d'un événement qui déclenche la propagation ordonnée des historiques à travers le graphe. Il faut donc déterminer un ordre de précedence des noeuds qui reflète le sens des influences entre paramètres. L'existence de boucles de rétroaction rend ce problème assez ardu. Une solution originale a été apportée, en propageant les historiques par segments, dont les limites correspondent à des événements.

La simulation consiste à partir de la description initiale d'un site et de certaines hypothèses vraisemblables d'occurrence de phénomènes primaires à propager leurs effets à travers le graphe d'influence.

PERSPECTIVE D'EVOLUTION : COOPERATION DES MODELES QUALITATIFS ET NUMERIQUES

En géoprospective, il existe une forte dualité entre les dimensions temps et espace ; ce sont deux notions intrinsèquement liées dont la prise en compte simultanée est primordiale. En effet, parler des conséquences d'un phénomène géologique quelconque n'a de signification qu'à une période de temps donnée et pour une localisation fixée.

Cette constatation nous a amenés à considérer une représentation des variables basée sur la discrétisation des deux axes "temps" et "espace". Plus concrètement, l'évolution d'une variable est représentée à des instants significatifs et relativement à des localisations spatiales particulières. Cette discrétisation de l'axe temps est faite de manière dynamique lors de la simulation. Ces instants correspondent à des dates d'occurrence d'événements jugés importants. L'évolution dans le temps d'un paramètre est donc représentée par une fonction linéaire par morceaux. Cette représentation tend à reproduire l'approche suivie par l'expert qui, souvent approxime l'évolution dans le temps de certains paramètres par interpolation linéaire entre des points d'observation.

La discrétisation de l'axe "espace", quant à elle, est faite de manière statique. Elle correspond à des localisations fixées a priori par l'expert, car jugées importantes. C'est l'évolution dans le temps des variables d'état en ces localisations particulières qui nous renseigne sur l'extension des variables en question.

A l'inverse des approches numériques, l'approche qualitative, n'est pas bien adaptée à la manipulation de représentations spatiales qui sont généralement basées sur d'importantes masses de données. Pour pallier cette limitation nous avons considéré le couplage de notre modèle qualitatif avec les modèles numériques déjà existants. Le premier ayant pour principale tâche de piloter temporellement les seconds. L'intérêt d'un tel couplage est de pouvoir conjuguer les avantages de deux approches (qualitative et numérique), en comblant les limites de l'une par les points forts de l'autre et *vice-versa*.

Plus concrètement, à l'occurrence de certains événements, le modèle qualitatif fournit aux modèles numériques les valeurs (déduites par propagation) de certaines variables considérées à des localisations spatiales particulières. Ces valeurs vont d'une part être utilisées par les modèles numériques pour visualiser l'étendue spatiale des phénomènes correspondants ;

d'autre part pour déterminer les valeurs de certaines de ces variables en d'autres localisations. Ces données (renfermant une information spatiale) vont permettre à leur tour d'alimenter certaines conditions spatiales au niveau du modèle qualitatif, afin de déterminer l'évolution d'autres variables du graphe d'influence.

CONCLUSION

Les techniques de l'intelligence artificielle et notamment le raisonnement qualitatif apportent beaucoup à une démarche géoprospective. En effet, ces techniques évitent le recours exclusif à des modèles numériques trop rigides, dont l'application est peu crédible compte-tenu du type de connaissances manipulées en géologie et des incertitudes dont sont entâchés, aux échelles de temps considérées, les paramètres à intégrer. Elles permettent de plus d'intégrer les interactions entre les processus et ainsi de mieux prendre en compte l'évolution de la géosphère dans toute sa complexité. Enfin, en explicitant avec un formalisme adapté à notre degré de connaissance la complexité des interactions entre les phénomènes mis en jeu, ces techniques contribuent à valider les scénarios construits et les informations qui peuvent en être retirées.

BIBLIOGRAPHIE

- CANCEILL ET *al.* (1985) - Evolution naturelle d'un site de stockage de déchets radioactifs à vie longue: essai de modélisation dans le cadre d'une approche géoprospective. *Bull. Int. Ass Eng. Geol.*, 32 : 25-47.
- DJERROUD A., ROUSSET M.C., GODEFROY P., GARCIN M. (1993) - An event-driven causal simulation applied to geoforecasting analysis - 4th annual conference on AI, simulation, and planning in high autonomy systems AIS'93 - Tucson Arizona
- GODEFROY P., COURBOULEIX S., FOURNIGUET J., GARCIN M., GROS Y., PEAUDECERF P. (1994) - Concepts, méthodes et outils d'études géoprospectives développés au BRGM: synthèse de plus de dix ans de recherche . Colloque Géoprospective Paris Avril 1994 .
- LEBRET P., DUPAS A., CLET M., COURBOULEIX S., COUTARD J.P., GARCIN M., LAUTRIDOU J.P., LEVY M., VAN VLIET-LANOË (1994) - Modélisation de la profondeur du pergélisol au cours du dernier cycle glaciaire en France: premiers résultats. , Colloque Q1 Montpellier.
- LE MEUR E. (1994) - Isostatic response to ice sheet loading with a self gravitating spherical viscous model. Colloque géoprospective Paris Avril 1994.
- MASURE P., GODEFROY P., IMAUVEN C. (1983) - Les analyses de sureté du confinement géologique des déchets radioactifs à vie longue: proposition d'approche prospective. *Rap. EUR. 8587*, Publ.off.Com.eur.
- MODARESSI H. ET *al.* (1990) - Géoprospective: simulation de l'influence d'une glaciation sur les déformations et les écoulements dans une série sédimentaire. *Rap EUR. 12503/FR3*, Publ.off.Com.eur.
- MODARESSI H. ET *al.* (1993) - Variation des caractéristiques hydromécaniques d'un site de stockage profond sous action sismique. *Géofranchise 93*.
- Règle Fondamentale de Sureté n°III-2-f 1991 - Stockage définitif de déchets radioactifs en formation géologique profonde. Ministère de l'industrie, France.
- SEGUIN J.J. et *al.* (1990) - Géoprospective: simulation couplée de l'altération et de l'érosion. *Rap. EUR 12503 FR/2*, Publ.off.Com.eur.