



**HAL**  
open science

## Géoprospect "Time Dependent": démonstrateur d'atelier en géoprospective - Geoprospect "Time Dependent": a computer workshop fo geoprospective studies

Manuel Garcin, Pierre Godefroy, Serge Courbouleix

### ► To cite this version:

Manuel Garcin, Pierre Godefroy, Serge Courbouleix. Géoprospect "Time Dependent": démonstrateur d'atelier en géoprospective - Geoprospect "Time Dependent": a computer workshop fo geoprospective studies. Colloque Géoprospective - UNESCO, 1994, Paris, France. pp.8 P. hal-00562510

**HAL Id: hal-00562510**

**<https://brgm.hal.science/hal-00562510>**

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.

# ***Géoprospect "Time Dependent": démonstrateur d'atelier en géoprospective***

## ***Geoprospect "Time Dependent": a computer workshop for geoprospective studies***

**M.Garcin<sup>1</sup>, P.Godefroy<sup>2</sup>, S.Courbouleix<sup>1</sup>**

### **RESUME**

Géoprospect T.D. est un démonstrateur d'atelier informatique en géoprospective développé au BRGM. Il s'appuie sur les réflexions menées depuis une dizaine d'années sur la géoprospective et s'inscrit dans la lignée des outils développés depuis 1984 (Castor, Herode, Castor PC, Géoprospect). La réflexion menée sur Géoprospect TD s'effectue parallèlement aux recherches menées en collaboration avec le Laboratoire de Recherche en Informatique d'Orsay (L.R.I) sur l'application des techniques de l'intelligence artificielle à la géoprospective. Ces investigations sont complémentaires et permettront à terme de construire des outils opérationnels de simulation de l'évolution future de la géosphère.

Cet article se propose dans un premier temps de présenter certains concepts clés de la géoprospective et notamment:

- relations entre phénomènes et échelle temps,
- définition des échelles géographiques (globale, régionale et locale),
- topologie des liens entre les processus d'échelle différente.

Ensuite, les bases conceptuelles sur lesquelles s'appuie Géoprospect TD seront explicitées. Elles concernent:

- les notions de paysages et d'héritage,
- le couplage des phénomènes: prise en compte, limite des modèles et restrictions,
- le concept "S.A.M.": scénario-Acteur-Metteur en Scène dans l'élaboration d'une recherche géoprospective.

L'architecture du système sera succinctement décrite afin d'illustrer l'instanciation des concepts précédemment évoqués.

Enfin, quelques illustrations de résultats seront présentées puis les axes de recherche futurs seront tracés.

### **ABSTRACT**

*Geoprospect TD is a set of computer codes constituting a so-called "showing workshop" for geoprospective studies. It has been developed at BRGM, from the geoprospective concepts of the past 10 years and belong to the line of tools that have been developed since 1984 (Castor, Herode, Castor PC, Geoprospect). The concept Geoprospect TD is improved in parallel with research, carried out in collaboration with the Laboratoire de Recherche en Informatique (Informatics Research Laboratory) of the University of Orsay on the application of Artificial Intelligence techniques to the field of geoprospective. The two lines of research are complementary and in time will enable the design of operational tools for simulating the future evolution of the geosphere.*

*This paper, in the first instance, will present the key concepts of geoprospective, especially:*

- *relationships between phenomena and time scale,*
- *definition of geographic scales (global, regional and local),*
- *topology of relationships between different-scale processes.*

*Next, the conceptual bases on which Geoprospect TD is founded will be explained. These concern:*

- *notions of landscapes and inheritance,*
- *the coupling of phenomena; consideration, model limits, restrictions,*
- *the "SAD" concept (Scenario-Actor-Director) in geoprospective research.*

*The architecture of the system will then be briefly described so as to illustrate the instanciation of the above concepts. The paper will end by illustrating some of the results obtained and outlining the directions to be followed in future research.*

### **INTRODUCTION**

Géoprospect T.D. est un démonstrateur d'atelier informatique en géoprospective développé dans le cadre des projets de recherche du BRGM dans ce domaine. Il s'appuie sur les travaux menés depuis une dizaine d'années en géoprospective et s'inscrit dans la lignée des outils développés depuis 1984 (Castor, Herode, Castor PC, Géoprospect; Godefroy et al. 1994). La

réflexion conduite sur Géoprospect TD s'effectue parallèlement aux recherches entreprises en collaboration avec le Laboratoire de Recherche en Informatique d'Orsay (L.R.I) sur l'application des techniques d'intelligence artificielle à la géoprospective.

L'objectif de ces investigations complémentaires est de permettre, à terme, de construire des outils opérationnels de simulation de l'évolution future d'une région ou un site donné à différente échelle de temps.

## PRINCIPES GENERAUX

### LE FACTEUR TEMPS

Le temps est le fil conducteur de la géoprospective; en effet, c'est le seul dénominateur commun qui existe entre tous les phénomènes susceptibles d'intervenir dans l'évolution géologique naturelle d'une région, qu'il s'agisse de processus de géodynamique interne ou externe. Ce lien permettra une connexion et une prise en compte pertinente de ces phénomènes et de leurs effets sur la zone d'étude.

L'échelle de temps à considérer dans les études de géoprospective (appliquées surtout jusque là au stockage en formations géologiques profondes) est de l'ordre de la centaine de milliers d'années, en conséquence, certains phénomènes auront des influences fortement lissées par rapport à leur impact à une échelle historique. De ce fait, à l'heure actuelle, le pas d'échantillonnage de l'évolution des phénomènes et des paramètres dans *Géoprospect TD* a été fixé à 1000 ans. Le choix de cette valeur, si arbitraire soit il, a le mérite de ne pas occasionner un trop grand nombre d'itérations et donc de ne pas induire des temps de calcul prohibitifs. Il est toutefois clair que cette valeur a été choisie à des fins de validation mais qu'il serait souhaitable de travailler avec un pas de temps inférieur pour pouvoir analyser des événements géologiques brefs tel que le Younger Dryas. La résolution et la tranche de temps qui nous préoccupent sont compatibles avec ceux issus des calculs des variations futures des paramètres orbitaux de la Terre. Ceci nous permettra donc d'utiliser ces courbes comme une entrée de paramètres pour notre système.

### NOTION D'ECHELLE SPATIALE DES PHENOMENES

Nous allons définir ici les échelles spatiales telles que nous les avons intégrées à *Géoprospect TD*.

Nous définissons l'**échelle globale** comme celle où les phénomènes sont vérifiés quelle que soit la localisation géographique de la zone d'étude. Cette définition peut être élargie à des phénomènes dont l'**impact** sera d'échelle globale et primordial à la compréhension des phénomènes. Dans *Géoprospect TD*, nous avons attribué à l'échelle globale les variations de températures moyennes annuelles, les variations du niveau marin ainsi que, par extension, les variations d'extension et d'épaisseur des inlandsis fennoscandien, laurentidien, écossais etc.

L'**échelle régionale** est une aire dont l'extension est suffisante pour prendre en compte des caractéristiques topographiques et géologiques susceptibles d'influer notablement sur l'évolution du centre de la zone d'étude c'est à dire d'échelle locale. Les phénomènes et les paramètres tels que l'érosion, le développement du permafrost, les mouvements verticaux, les

déformations isostatiques, l'épaisseur des formations superficielles, l'étagement de la végétation sont intégrés à cette échelle.

L'**échelle locale** sera définie comme celle où les phénomènes et paramètres pris en compte sont inféodés au site lui-même. Elle est symbolisée par le centre de la zone d'étude retenue pour définir l'échelle régionale. C'est à cette échelle que seront traités les paramètres décrivant l'état de la barrière géologique, comme la porosité, la perméabilité, etc.

### **Liens entre les processus d'échelle différente**

On peut définir les liens entre processus relevant de différentes échelles comme des liens de causalité descendant du plus général au plus localisé. Ainsi, les phénomènes d'échelle globale auront des influences sur ceux des échelles régionale et locale; ceux d'échelle régionale sur ceux de l'échelle locale. Par contre, il n'existe pas de liens ascendants entre processus associés à l'échelle locale et ceux d'échelle régionale *a fortiori* d'échelle globale.

### **Liens de causalité entre processus**

Les différents processus d'échelle globale (variation du niveau marin, variation des températures moyennes etc.) vont représenter des paramètres d'entrée à ceux d'échelles régionale et locale en accord avec les principes précédemment évoqués. Les liens causaux provenant de l'échelle globale vont opérer un "forcing" sur ceux de l'échelle régionale; ceux-ci montrent par ailleurs de nombreuses interactions et rétroactions (figure 1). Le passage de l'échelle globale à l'échelle régionale s'opère par l'intermédiaire de variables géographiques (de localisation) qui vont permettre de particulariser, tout en spatialisant les données, la réponse régionale. On notera, dans la figure 1, que chaque boîte représentant un processus de l'échelle régionale reste à un niveau d'abstraction assez élevé; chaque boîte peut schématiser un ou plusieurs modèles complémentaires ou exclusifs. De plus, il ne faut pas oublier que ces boîtes "monodimensionnelles" représentent dans bien des cas des phénomènes dépendant du temps qu'il faudra traiter en 2 ou 3 dimensions spatiales (soit 4 dimensions).

### **NOTION DE "PAYSAGE"**

Le "paysage", tel qu'il est conçu dans *Géoprospect TD*, correspond à une entité d'échelle régionale.

Il forme un tout constitué au minimum par:

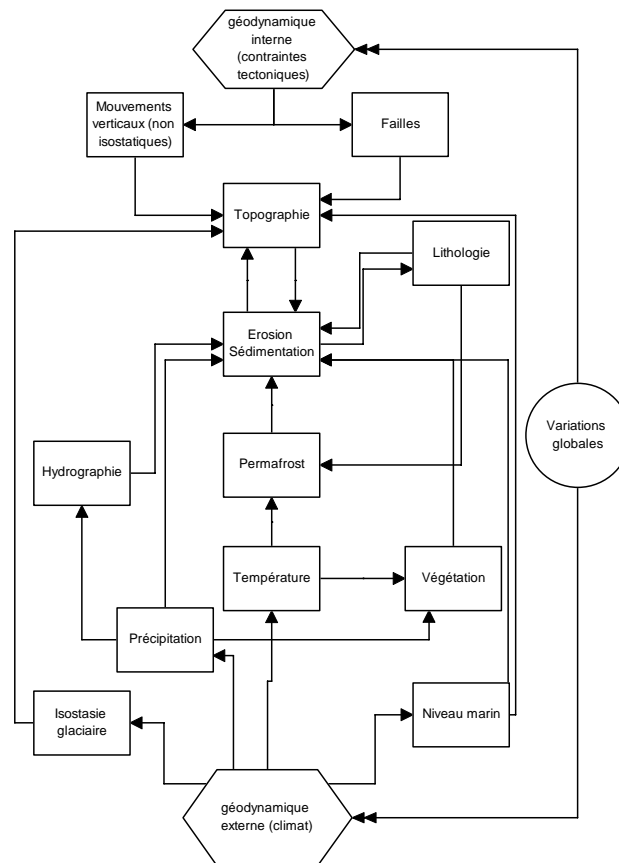
- une topographie dans laquelle sont englobées les variables altimétriques (Modèle Numérique de Terrain MNT à diverses résolutions) et des informations géographiques.
- un contenu intégrant les caractéristiques géologiques de la zone: le type et les épaisseurs des formations superficielles, du "bed-rock", éventuellement des informations sur les accidents tectoniques actifs (typologie, géométrie et cinématique).
- des données de type climatique telles que la température moyenne annuelle, la pluviométrie moyenne annuelle, etc.

Le paysage, qui est la zone de travail, intègre donc des composants physiques et géographiques ce qui permettra de restituer son évolution propre à partir de la variation de données globales.

Selon la disponibilité des données ou la particularité de l'étude, l'échelle du paysage et la résolution des données pourront être différentes. A partir de ces informations de base, des données plus spécifiques sont extractibles telles que les réseaux hydrographiques, les matrices

d'écoulement, cartes des pentes, des expositions etc.. D'autres sont superposables: failles, limites de blocs ... Des informations sur les associations végétales seront ultérieurement associées à ces caractéristiques géologiques afin d'envisager un couplage géosphère-biosphère.

Le site, dans *Géoprospect TD*, est la matérialisation de l'échelle locale conceptuelle. Ses paramètres sont très fortement liés et contraints par le paysage qui l'entoure; c'est en ce sens que le site peut être considéré comme un point particulier du paysage.



**Figure 1: Représentation schématique des liens entre processus**

Des paramètres spécifiques décrivant les propriétés de la barrière géologique seront associés à ce point particulier.

### L'héritage

L'un des points fondamentaux de la géoprospective est la prise en compte des événements passés ayant affecté et façonné la zone d'étude. Ceci est valable aussi bien pour les phénomènes ayant trait à la géodynamique interne qu'externe.

Concernant cette dernière, la prise en compte d'une topographie, des épaisseurs et de la répartition des corps sédimentaires les plus réalistes possibles ( Modèles Numériques de Terrain à haute résolution) permettra au modèle d'érosion (par exemple) de fonctionner sur un paysage dont les traces de son évolution passée seront exprimées; le modèle sera dans ce

cas guidé d'une part par cet héritage géologique et géomorphologique et d'autre part par les nouvelles modifications de son environnement.

### **LE CONCEPT "SCENARIO-ACTEUR-METTEUR EN SCENE"**

On peut rapprocher une analyse géoprospective de l'élaboration d'un film. L'expert, en charge de cette analyse, peut en effet être considéré comme un metteur en scène qui va appliquer un scénario et tester le "jeu" d'un acteur en fonction de ce scénario.

En effet, les phénomènes d'échelle globale peuvent être assimilés à une histoire commune à tous les points du globe qui va être imposé ("scénario").

L'utilisateur (le metteur en scène) va créer plusieurs scénarios d'évolutions possibles des paramètres globaux dont il va vouloir tester l'impact sur plusieurs régions et sites. Ces régions vont être les "acteurs" qui possèdent leurs propres histoires et caractéristiques et qui vont, en fonction de celles ci, réagir différemment (rôle de l'héritage).

Le résultat (le film) sera la réponse temporelle d'un paysage à un scénario donné. Cette réponse se traduira par une évolution de la morphologie incluant celle du réseau hydrographique, de la géométrie des dépôts, du climat et de la végétation.

L'expert pourra ainsi, à partir du même scénario, comparer plusieurs sites ou, sur le même site, appliquer plusieurs scénarios afin d'analyser la sensibilité de ce dernier à différents paramètres.

### **DU COUPLAGE DES DIVERS PHENOMENES EN GEOPROSPECTIVE**

L'évolution naturelle d'une région ou d'un site est le résultat des influences conjuguées de multiples phénomènes interagissant. Les processus de rétroaction y sont nombreux et les interdépendances quasi systématiques. De ce fait, toute étude géoprospective s'attache à l'analyse des phénomènes et de leurs relations. En conséquence, il est primordial que les outils développés pour des études géoprospectives simulent ces interactions et rétroactions.

Les modèles numériques traitant d'un phénomène particulier sont souvent très complexes et lourds à mettre en oeuvre sans pouvoir, pour autant, intégrer ces liens complexes et multiples entre processus. Il nous paraît donc plus judicieux de concevoir et d'utiliser des modèles simplifiés intégrés et couplés dans le même système. En effet, " l'erreur " induite par l'utilisation de modèles simplifiés mais couplés les uns aux autres est dans beaucoup de cas inférieure à celle induite lors de l'utilisation de modèle sophistiqués mais indépendants. A titre d'exemple simple, l'utilisation d'un modèle d'érosion ne tenant pas compte des mouvements verticaux ou des variations du niveau marin donneraient des résultats physiquement valides mais irréalistes. En effet, en plus du phénomène de reprise d'érosion par variation du niveau de base qui ne pourrait être traité, les erreurs d'évaluation de l'altitude seraient très élevées (l'intervalle de variation des niveaux marins se situe dans la tranche de -120 m à +6 m durant le Quaternaire). Une différence d'altitude résultant de l'utilisation de deux modèles d'érosion de 120 m en quelques 100 mille ans paraît fortement improbable.

Le second problème est qu'assez souvent, on s'aperçoit que certaines conséquences induites par un phénomène ne sont pas quantifiables compte tenu de nos connaissances actuelles. Il ne peut être éliminé que par la poursuite des recherches phénoménologiques ou gommé en utilisant des techniques différentes comme celles mises en oeuvre dans le projet Expect qui

s'appuient largement sur le raisonnement qualitatif. De plus, la quantification "numérique" des processus et de leurs conséquences n'est pas toujours possible, dans l'état actuel de nos connaissances ( Djerroud et *al.* 1993 , Godefroy et *al.* 1993, Garcin et *al.* 1994).

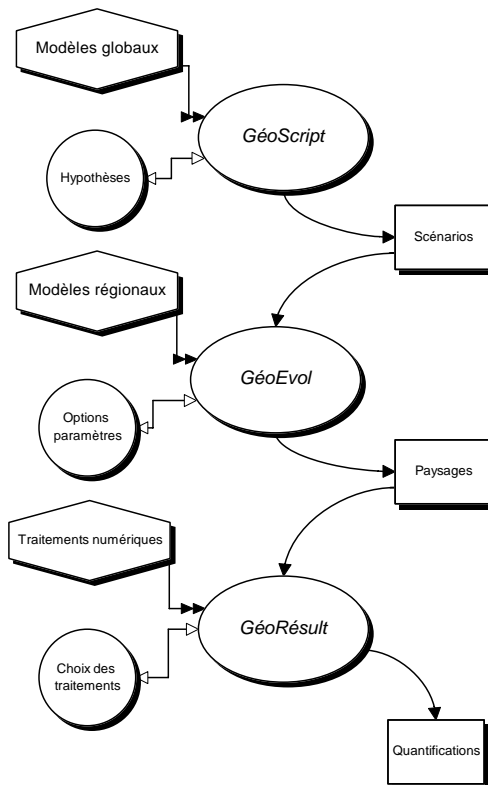
## LE CONCEPT D'ATELIER DE GEOPROSPECTIVE

L'un des apports, et non des moindres, d'un atelier est de fournir des outils dont l'objectif est d'être complémentaires au sein d'un ensemble cohérent. Par nature, les ponts entre ces différents outils sont innés, les communications et échanges aisés. Les modes opératoires, l'ergonomie et la convivialité des outils étant proches, l'utilisateur se retrouve devant un atelier cohérent, homogène; la maîtrise et donc l'élaboration de l'étude en sont facilités. L'autre avantage est la subdivision des grandes tâches nécessaires à une étude géoprospective en plusieurs phases distinctes non séquentielles (élaboration des scénarios d'évolution globale, définitions d'un paysage, simulation, traitements post-simulation)

## ARCHITECTURE D'ENSEMBLE

Géoprospect TD fonctionne à l'heure actuelle sur un micro-ordinateur sous Windows 3.1. Cet atelier a été développé selon les techniques de programmation orientées objet et écrit en Pascal Orienté Objet sous Windows. L'interface utilisateur et les dialogues spécialisés ont été réalisés selon les techniques WYSIWYG (What You See Is What You Get) c'est à dire d'une manière interactive et indépendante du code de l'ensemble de l'atelier.

Le démonstrateur est composé de trois outils principaux (fig.2) participant à l'élaboration de l'étude géoprospective.



**Figure 2: Structure schématique de Géoprospect TD**

### **PREPROCESSEUR (GEOSCRIP):**

Son rôle est de permettre la création de scénarios d'évolution future. Il ne traite que de phénomènes appartenant à l'échelle globale. Les scénarios créés à l'aide de cet outil peuvent avoir des durées variables et pourront être entièrement différents en fonction des hypothèses concernant les variations futures des paramètres orbitaux de la Terre par exemple. Celles-ci conduisent l'utilisateur à fixer, à chaque date qu'il juge importante, des valeurs de variation de la température moyenne annuelle par rapport à l'actuelle, l'épaisseur maximum des inlandsis fennoscandien, écossais et irlandais. A partir de ces points de calage (événements), Géoscript évalue selon une loi déterministe le niveau marin relatif. L'ensemble d'événements globaux ainsi créés sont ensuite interpolés pour générer un scénario à pas de temps constant. Ces scénarios d'évolution des paramètres globaux permettent le déclenchement et l'activation d'une simulation avec *GéoEvol*.

### **PROCESSEUR (GEOEVOL):**

Son rôle est double: d'une part il sert à créer les paysages (acteurs), d'autre part il va permettre d'appliquer aux paysages l'un des scénarios disponibles afin d'effectuer une simulation.

La création de paysage se fait interactivement, à partir de modèles numériques de terrain (MNT) et d'un fichier décrivant les formations superficielles, un paysage. Après délimitation de la zone sur une carte représentant le MNT, l'utilisateur désigne un fichier associé de formations superficielles et renseigne les différents paramètres propres à la zone tels que la température moyenne annuelle actuelle, les précipitations moyennes etc. Les paramètres géographiques (latitude, longitude) sont automatiquement extraits du MNT par le système qui gère ensuite, d'une manière transparente, tous les fichiers décrivant le paysage au temps initial. Le paysage sera ensuite sauvegardé; il pourra être utilisé immédiatement ou ultérieurement.

Pour simuler l'évolution d'un paysage il est nécessaire de charger un paysage et d'activer un scénario d'évolution qui correspond aux hypothèses d'évolution de paramètres globaux. Les paramètres des modèles des phénomènes d'échelle régionale et locale sont accessibles. Leur modification, en utilisant un même scénario, permettent de tester et d'évaluer la réponse du paysage aux variations d'un ou plusieurs paramètres soit différentes hypothèses géologiques. Le couplage entre les paramètres d'échelle globale et le paysage est géré par le système grâce aux paramètres géographiques. Le type de paramètres accessibles dépend du nombre et de la complexité des modèles disponibles et activés pour une simulation. A titre d'exemple, en ce qui concerne le modèle d'érosion/sédimentation actuellement installé dans *GéoEvol*, les valeurs d'érosivité et de creep peuvent être modifiées de même que les coefficients d'érodabilité des roches du bed-rock ou des formations superficielles.

Afin de garder des traces des états intermédiaires entre le début et la fin de la simulation, l'utilisateur peut définir les dates auxquelles il souhaite conserver toutes les données du paysage (altitude, corps sédimentaires, températures etc.). Le paysage est ainsi sauvegardé automatiquement dans sa totalité puis visualisé avec *GéoEvol* ou traité par *GéoRésult*.

Le paysage courant, lors d'une session de travail sous *GéoEvol*, peut être visualisé sous différents modes cartographiques et à différentes échelles qu'il s'agisse de la topographie, des



formations superficielles, de la température (carte hypsométrique, pentes, orientation des pentes, ombrage, vue 3D etc.).

### **POSTPROCESSEUR (GEORESULT)**

Cet outil permet d'analyser le paysage et ses variables à différents stades de son évolution après avoir effectué la simulation (fig.3):

- en visualisant la topographie, les pentes, la géométrie des formations superficielles soit sous forme de courbes en fonction du temps, soit sous forme de cartes 2D ou des visualisations 3D (blocs diagrammes) pour des périodes clés de la simulation,
- en quantifiant et en comparant les variables à l'aide de fonctions statistiques. Ces fonctions permettent notamment d'effectuer des bilans de volume des matériaux mobilisés (érodés ou sédimentés), d'évaluer les surfaces occupées par les différents corps sédimentaires d'une période à l'autre.

### **CONCLUSIONS**

Géoprospect TD a permis de tester et de valider certains concepts comme le couplage entre phénomènes d'échelles globale et régionale et entre processus de l'échelle régionale au cours du temps. Ce démonstrateur illustre l'intérêt et les possibilités d'un atelier de géoprospective notamment à travers les possibilités de tester plusieurs hypothèses d'évolution globale sur un même paysage mais aussi celles de traiter et de visualiser les résultats en 2 ou 3 dimensions.

### **BIBLIOGRAPHIE**

- 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., GARCIN M., DJERROUD A., ROUSSET M.C. (1993) - Apports des techniques de l'intelligence artificielle à l'élaboration de schémas d'évolution naturelle à long terme d'un site géologique. Intérêt pour les stockages profonds de déchets. Actes du symposium international Géoconfiné 93, Montpellier, France, 8-11 Juin 1993, Balkema, Rotterdam, 397-402.
- GODEFROY P., COURBOULEIX S., FOURNIGUET J., GARCIN M., GROS Y., PEAUDECERF P. (1994) - Evolution des concepts, méthodes et outils de la géoprospective- Colloque Géoprospective, Paris, 18-19 Avril 1994.
- GARCIN M., GODEFROY P., DJERROUD A., ROUSSET M.C. (1994) - Application des méthodes de l'intelligence artificielle à la géoprospective: le projet Expect. Colloque Géoprospective, Paris, 18-19 Avril 1994.