

La cartographie cognitive appliquée dans le domaine du risque géologique

H. MANSOUR, I. ZEROUAL, A. NADJI, M. FOUKRACHE
Laboratoire Géorressources, Environnement et Risques Naturels
Département des Sciences de la Terre, FSTGAT, Université d'Oran.
E-mail : I_mansou_1@yahoo.fr

ملخص : تمثل المنطقة الوهرانية موقعا بالغ الأهمية من أجل تقييم وإدارة الخطر الجيولوجي. حاليا، أسهمت صور الأقمار الصناعية و الخرائط الرقمية في إعطاء منهج جديد لتحليل الخطر الجيولوجي. يتطور الحيز الجيولوجي حسب الظروف المناخية و الفيزيائية للأوساط، إذ تمثل إدارة الخطر الجيولوجي منهجا معقدا بحيث تسمح فائدتها بربط عدة أنواع من القرارات أهمها قرار الاستغلال.

إن تطوير نموذج للإدارة حول هذا الموضوع هو النتيجة الأساسية لهذا العمل بحيث تم الاعتماد على مثال حول احتياجات الطريقة المستعملة.

إن تشكيل ملفات خرائطية انطلاقا من الصور أو قواعد المعطيات الفضائية هو منهج غير مستغل بما فيه الكفاية. إن الآليات التي تتطلب استعمال منهجيات للحصول و معالجة المعلومة الخاصة بالخطر الجيولوجي، تنتمي إلى منهج الخرائطية المعرفية.

إن إعداد الوثائق (خرائط، مخططات، سجلات الأرض) و اتخاذ القرار المتعلق بالبيئة، يستدعي وضع منهج عرض و تحديد المواقع المعرضة للخطر.

إن الخرائط الرقمية ودمج المعطيات المرتبطة بالخطر الجيولوجي، يتم إعدادها باستخدام الأجهزة البيانية و أنظمة الإعلام الجغرافي. و قد تم اقتراح خرائط معرفية لتقديم الرموز المتسببة في الخطر الجيولوجي.

الكلمات الأساسية : الخرائط الرقمية، معرفية، خطر جيولوجي.

Résumé : L'Oranie constitue un site très intéressant pour l'évaluation et la gestion du risque géologique. Actuellement, les images spatiales et la cartographie numérique apportent une nouvelle approche pour analyser le risque. L'espace géographique évolue en fonction des conditions climatiques et physiques des milieux. La gestion du risque géologique est un processus complexe dont l'utilité permet de lier plusieurs types de décision dont le principal est la décision exploitation. Le développement d'un modèle de gestion autour de ce thème est le résultat principal de ce travail où un exemple est utilisé pour

les besoins de la démarche. La constitution de fichiers cartographiques à partir des images ou de bases de données spatiales est un processus insuffisamment exploité. Les mécanismes qui font intervenir les méthodes d'acquisition et de traitement de l'information du risque géologique adhèrent à un processus de cartographie cognitive. La rédaction des documents (cartes, plans, livrets de terrain, notice géologique,...) et la prise de décision sur l'environnement engendre la mise en place d'un processus de visualisation et de localisation des sites porteurs de risque. La cartographie numérique et l'intégration des données liées aux aléas du risque géologique sont réalisées à l'aide des fonctionnalités des systèmes graphiques et de système d'information géographique. Des cartes cognitives sont proposées pour présenter les entités porteuses de risque.

Mots clés : Cartographie numérique, Cognition, Risque géologique.

1. Introduction

Les applications menées ces dernières années en collaboration avec les centres de recherche et l'université d'Oran ont ouvert un nouveau champ d'investigation, mettant en évidence le besoin de traiter l'information à référence spatiale. En effet, pour suivre et gérer cette évolution on doit à chaque fois produire de nouvelles données géo localisées et intégrées dans un processus de développement régional ou local.

Afin de mettre en place des méthodes d'intervention efficaces, on propose une cartographie de cognition sur le risque géologique. Les aspects sur la cartographie numérique et l'intégration des données liées au risque géologique sont réalisés à l'aide des fonctions de traitements et de visualisation des outils de la CAO. Pour une cartographie d'inventaire, les solutions du Système d'Information Géographique (SIG) apportent une contribution très appréciable, néanmoins, elles demeurent lourdes en termes de

manipulation. Les propriétés de la vision permettent d'étendre les propriétés (attributs) dans un sens ayant la plus grande bande passante ainsi que les capacités cognitives et mémorielles de l'opérateur pour penser visuellement (Kaufmann, 2000).

Beaucoup de caractéristiques visuelles peuvent être perçues pré-attentivement :

L'orientation de ligne/blob, longueur, épaisseur, taille, courbure, cardinalité, terminaisons, intersections, inclusion, teinte, clignotement, direction de mouvement, profondeur stéréoscopique, indices 3D et la direction de l'éclairage. Des problèmes sur les caractéristiques pré-attentives interfèrent entre elles et présentent certaines limites dont 7 couleurs et 3 formes maximums (Fekete et al, 1999).

La famille des techniques permettant des visualisations d'information sont orientées points, lignes, surfaces avec des remplissages de surface (trames). A partir de ces concepts une cartographie cognitive sur le risque géologique est souhaitable pour investir un nouveau domaine de recherche et y apporter de nouvelles techniques de visualisation, d'agrégation et d'interaction. Le passage à l'échelle et l'animation complète le traitement de l'information.

Dans cet article, nous proposons une modélisation conceptuelle des données géologiques liées au risque afin de définir une approche cognitive permettant la gestion des différents aléas. Cependant, nous serons amenés à prendre en compte des très grandes superficies en tant qu'unités géologiques et des superficies spécifiques en tant que sous unités porteuses du risque telles que les structures géologiques complexes ou les bassins versants dans leurs aspects morphologiques. L'utilisation de l'imagerie spatiale et la définition d'un SIG contenant

des données spatiales doit permettre une analyse environnementale précise pour la prise de décision. La cognition doit donc établir une maquette (modélisation cartographique) pour définir les différents plans (incident, intervention, et urgence).

2. Méthodes

Prise dans son sens le plus général, la cartographie permet de construire des cartes (support externe graphique) pour aider le technicien à appréhender les différents espaces. Elle met en œuvre des techniques permettant de passer d'un espace informationnel à un espace d'information cartographique constituant une carte.

a. Cartographie cognitive

Le mot « carte » possède une acception spatiale. Une carte est un support physique représentant un espace géographique sur lequel s'appuie l'opération pour s'orienter, estimer des distances, etc... Par carte cognitive, on entend « la représentation intérieure de l'environnement, de ses propriétés métriques, des relations topologiques entre les sites qui les composent ». Elle est susceptible de supporter des calculs cognitifs assurant l'orientation de l'individu, calculs dont la validité est déterminée par l'isomorphisme de la carte « à l'égard de l'espace qu'elle représente » et notamment par sa « capacité à conserver les propriétés euclidiennes de l'espace physique » (Thierry P2002). La carte cognitive correspond dans la plupart des cas à un système de localisation. Des travaux montrent qu'il existe une relation entre performances objectives des thèmes et la qualité des plans qu'ils savent fournir (Pailhous, 1979). Cette expérience fait référence aux liens suivants (fig. 1) :

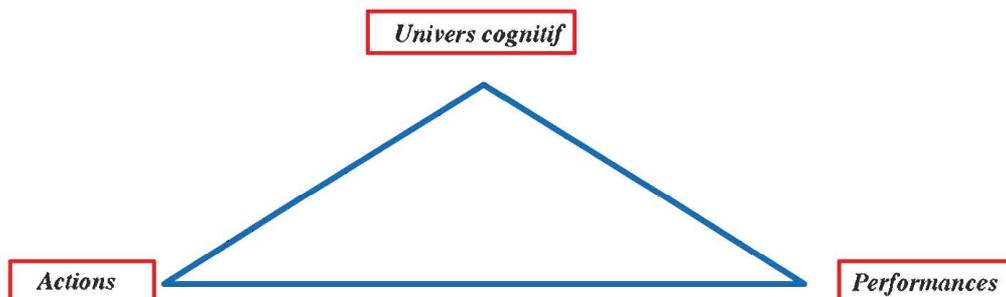


Fig. 1 Univers cognitif – Performances - Actions

Deux sortes d'images mentales sont à l'épreuve (Thierry, 2002) :

- Une image correspondant à une vue conceptuelle de la ville, assimilable à une vue aérienne.
- Une image correspondant à une vue directe et concrète conforme à ce qui se passe au sol.

Ces deux formes de représentation contribuent à la mise en œuvre des « stratégies de déplacement ». Le programme d'action résulterait de la vue conceptuelle, la vue directe influant sur les « décisions locales ». Certains problèmes persistent tels que la surestimation des distances pour les trajets comportant des obstacles matériels ou des angles. D'autres types d'erreurs peuvent intervenir dans cette construction mentale spatiale, menant parfois à des incohérences mais dont les sujets semblent s'accommoder. Elles se rectifient par expérience ambulatoire ou prise de connaissance de cartes géographiques. Ces deux niveaux ont donné lieu à des travaux (Pailhous, 1979 ; Plaisant, 2002) comparant les processus de construction de la représentation interne de l'environnement spatial par expérience directe, par prise d'informations exécutées sur des substituts figuratifs symboliques (cartes, plans...).

Un modèle cognitif propre au risque naturel est proposé tenant compte de l'inventaire de données sur le risque et l'événementiel des différentes évolutions.

- Etape d'agrégations de données (observations in situ) d'un événement donné sous forme de variables paramétriques tributaires de cognition objective (tableur générique de la cognition).
- Etape de discrétisations (comptage) d'informations croisées entre les différentes variables explicatives d'un phénomène étudié (matrice de fréquence d'information cognitive).
- Etape de calcul de probabilités d'occurrence des cognitions à partir du tableur fréquentiel pour faire distinguer les transitions formelles positives des transitions fictives négatives.

- Etape d'affiliation de la cognition résultante (transitions par ordre relationnel).

- Schéma de la carte de cognition dit modèle référentiel pour la prise de décision.

b. Image spatiale

Essentiellement orientée sur le développement des méthodes d'extraction de l'information contenue dans les images satellitales et son intégration dans les SIG. La méthodologie équivalente au modèle Rimbert (1990) sera basée sur les étapes suivantes :

- Superposition des données thématiques (éléments de cognition).
- Géo référencement et calage géométrique des objets (cognitifs).
- Cartographie assistée à l'ordinateur (choix du mode de représentation vectoriel ou matriciel).
- Géostatistique (classification automatique hiérarchisée CAH).
- Prise de décision (zoning spatio-temporel et dynamique de l'événement étudié).
- Impact : détection et traitement numérique des zones fragiles.
- Délimitation des périmètres de sécurité.

La signature spectrale et la résolution sont des facteurs primordiaux pour les traitements en imagerie spatiale. Le filtrage est utilisé afin de définir chaque pixel par rapport à son voisinage. Le processus mathématique de filtrage est connu sous le nom de convolution. Les résultats de cette multiplication cellule à cellule sont sommés d'obtenir la valeur « filtrée correspondante ». Les valeurs contenues dans la matrice sont connues sous le nom de noyau du filtre. Ainsi pour le risque géologique, la cartographie est déterminée par la capacité des unités spatiales à reconnaître un certain nombre de critères pour les sciences de la cognition. Le résultat de cette évaluation peut être présenté sous la forme d'une carte de synthèse représentant un croisement de plusieurs thématiques. L'évaluation multicritères et multi objectifs engendre des aspects de classification et d'analyse (fig. 2).



Fig. 2a Image spot sur Oran R=10m

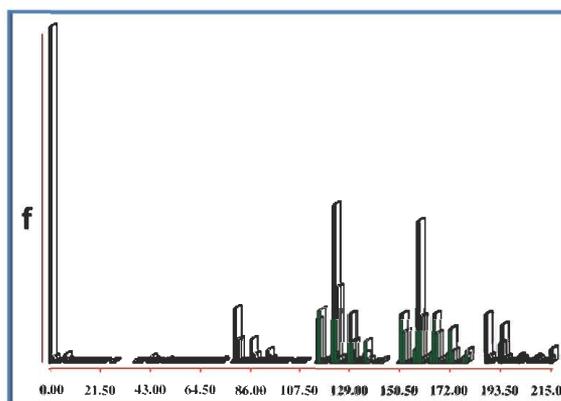


Fig. 2b Histogramme des classes (256 niveaux)

L'analyse d'image est illustrée par un histogramme dont la représentation graphique montre une distribution de fréquences dans laquelle la largeur des classes est proportionnelle à leur amplitude, tandis que la hauteur est proportionnelle à la fréquence de la classe. Cet indicateur montre la réponse de chaque objet par rapport au rayonnement utilisé.

D'un autre côté la séparation Rouge, Vert, Bleu (RVB) ou la transformation Teinte, Saturation, Luminance (TSL) est utilisée pour le contraste d'une image, ou pour des opérations telles que la combinaison d'images. Un tel processus utilise l'organigramme suivant pour reconnaître les entités du risque géologique (fig. 3).

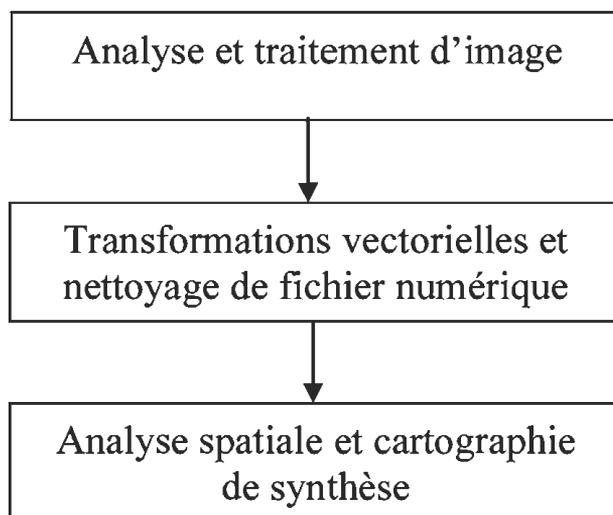


Fig. 3 Organigramme du processus de traitement

Pour illustrer le principe de détection des classes la séparation RVB, l'image d'Oran (1000 pixels par lignes et 1500 pixels par colonnes)

à donné les résultats suivants avec des histogrammes représentant des classes complémentaires (fig.4).

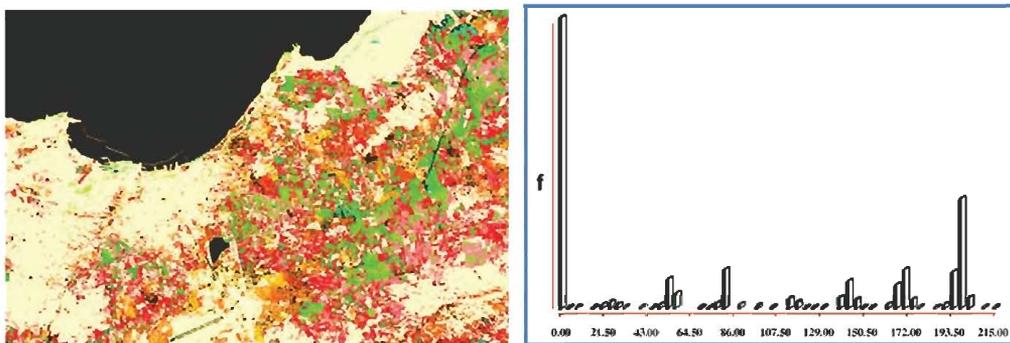


Fig. 4a Planche de Séparation rouge et son histogramme

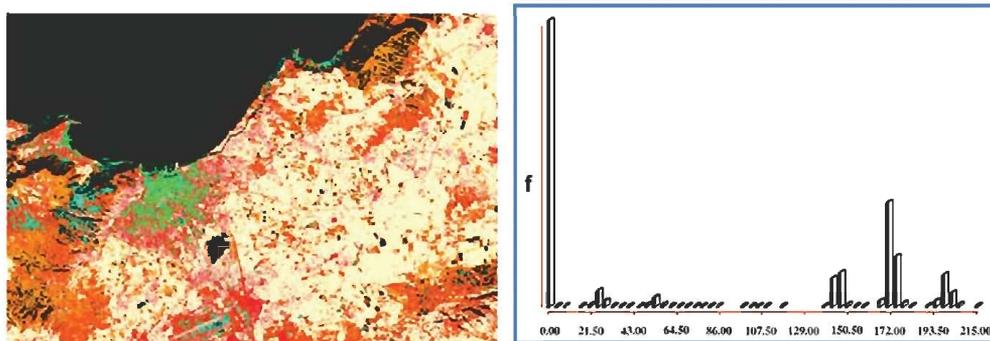


Fig. 4b Planche de Séparation vert et son histogramme

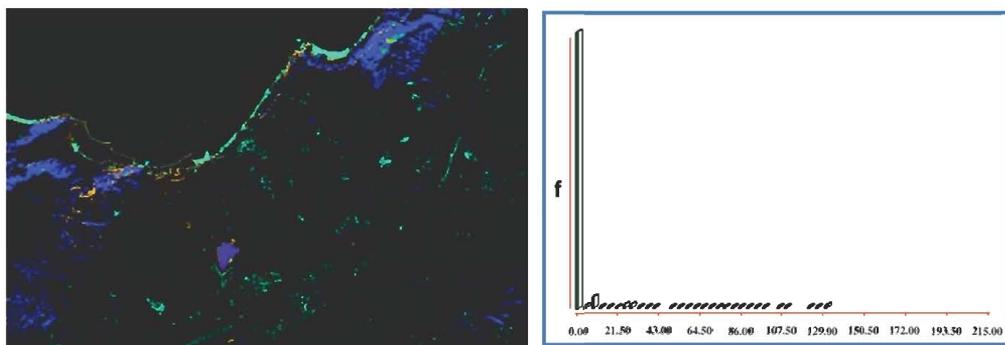


Fig. 4c Planche de Séparation bleu et son histogramme

Dans cette dernière planche on constate un très faible contraste pour localiser des phénomènes. La phase échantillonnage à permis d'identifier les terrains nus.

3. Modélisation

L'analyse de l'existant et l'inventaire des données du risque géologique permet de dégager une première approche pour le modèle conceptuel simplifié pour éviter d'alourdir le schéma. Ce paragraphe est dédié à la réflexion existant entre la cognition et la conception du modèle spatial. Le paramétrage global est considéré sans tenir compte de la spécificité des zones. Ainsi une première conception cognitive

permet la rédaction de cartes mettant en évidence le risque géologique. La définition d'un prototype global permet d'expliquer les données pertinentes de la Base de Données Géospaciales.

Le support graphique s'articule autour de la plateforme logicielle composée des outils de traitement d'image, de cartographie numérique et de gestion spatiale des données (CorelDraw pour le graphisme, Idrisiw pour le traitement d'image et Mapinfo pour le traitement des SIG).

La visualisation 2D ou 3D engendre des erreurs d'appréciations pouvant reconstruire le terrain de façon très médiocre. La figure 5 illustre cet état de fait.

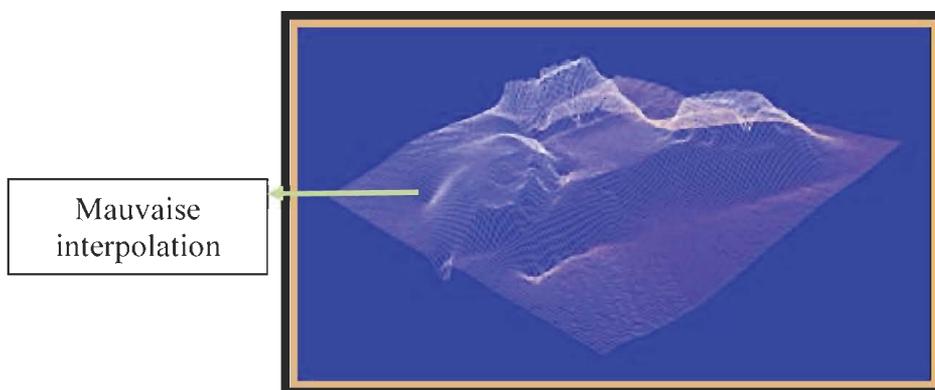


Fig. 5 Anomalies de la vision 3D

Il devient donc nécessaire de lier cognition et modélisation pour mettre en place un programme assurance qualité. Le schéma conceptuel d'information est une étape incontournable pour illustrer une telle problématique. Dans la définition du schéma conceptuel d'information SCI (fig. 6), nous avons limité la classification aux couches suivantes :

- Classe des **agglomérations** représentée par une couche (ensembles bâtis).
- Classe des **faciès géologiques** représentée par une couche (lithologie et fracturation).
- Classe des **phénomènes** physiques représentée par une couche (mouvements et aléas sismiques).
- Classe des **données climatiques** représentée par une couche (pluviométrie, températures, pressions).

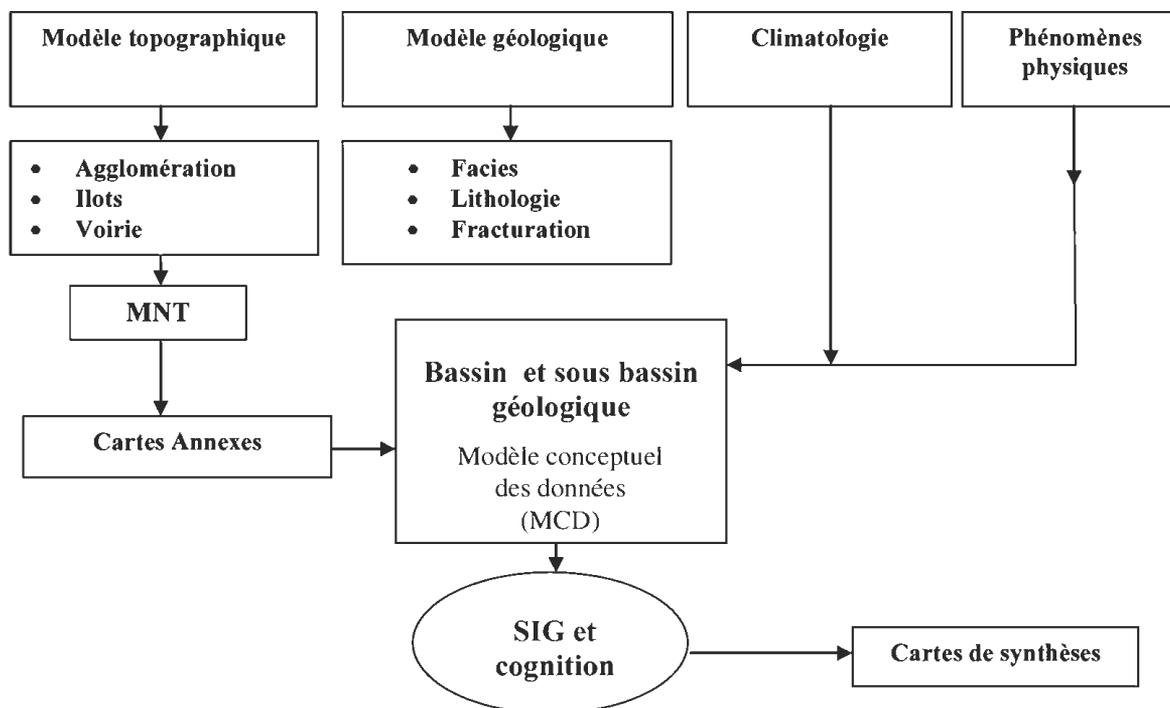


Fig. 6 Schéma conceptuel d'information SCI

La solution proposée s'articule autour d'une visualisation scientifique en géologie qui prend en compte l'environnement du milieu. Un découpage du territoire en bassins et sous bassins permet d'appréhender la cartographie du risque géologique. Il existe cependant plusieurs approches de modélisation dont la principale pour notre étude est celle qui prend en considération les aspects futurs de représentation sous forme de modèles normatifs. Il s'agit de mettre en jeu de nombreux éléments pour la génération de modèles de simulation; ceci est possible grâce aux concepts de la surface cartographique et aux attributs de lieux et données thématiques liées au phénomène étudié.

L'information spatio-temporelle est caractérisée par le temps d'évolution sous forme d'intervalles, d'itérations, ou de constructions récursives (Laurini et al 1993). Le moteur d'inférence est généré par des règles de transformation déterministe ou stochastique.

Il est donc facile de comprendre la contribution considérable que l'informatique a apporté à la cartographie de prévention et de simulation en permettant plusieurs structures à la fois et en facilitant une visualisation rapide des résultats. Le voisinage des zones à risques et des ouvrages peut être considéré comme un espace géodynamique localisé où des opérations spatiales s'effectuent. Ainsi, le classique répertoire des coordonnées tridimensionnelles devient un tableau complété par des indicateurs de cet environnement géologique. Des grilles d'action ou d'intervention sont réalisées dont l'objectif est d'éviter les oublis et de ne commettre aucune négligence sur l'environnement étudié (Combe, 1990). Dans cette même vision, les géologues stratigraphes raisonnent selon le principe de Walter (1933) en trois dimensions ou tendances basés sur le temps, l'espace et l'environnement (fig. 7). Le passage entre ces trois tendances exprime la cognition environnementale.

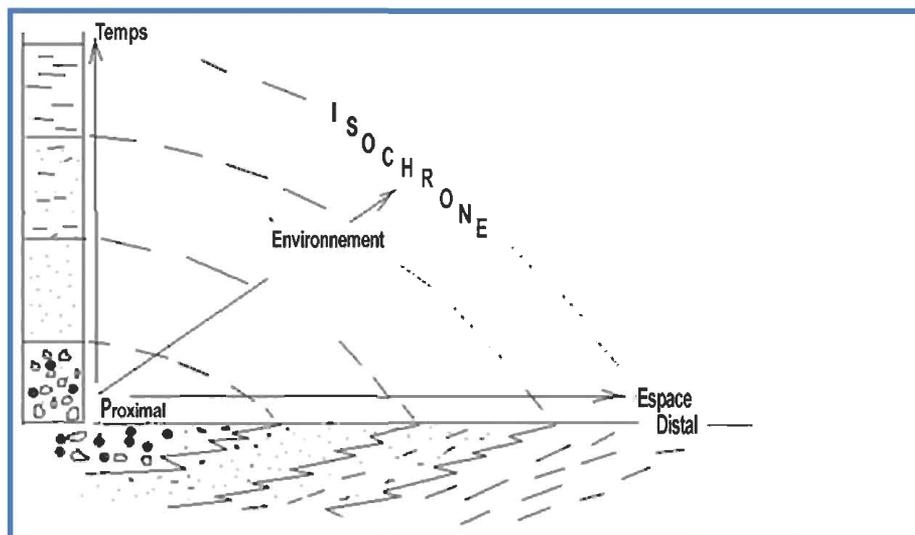
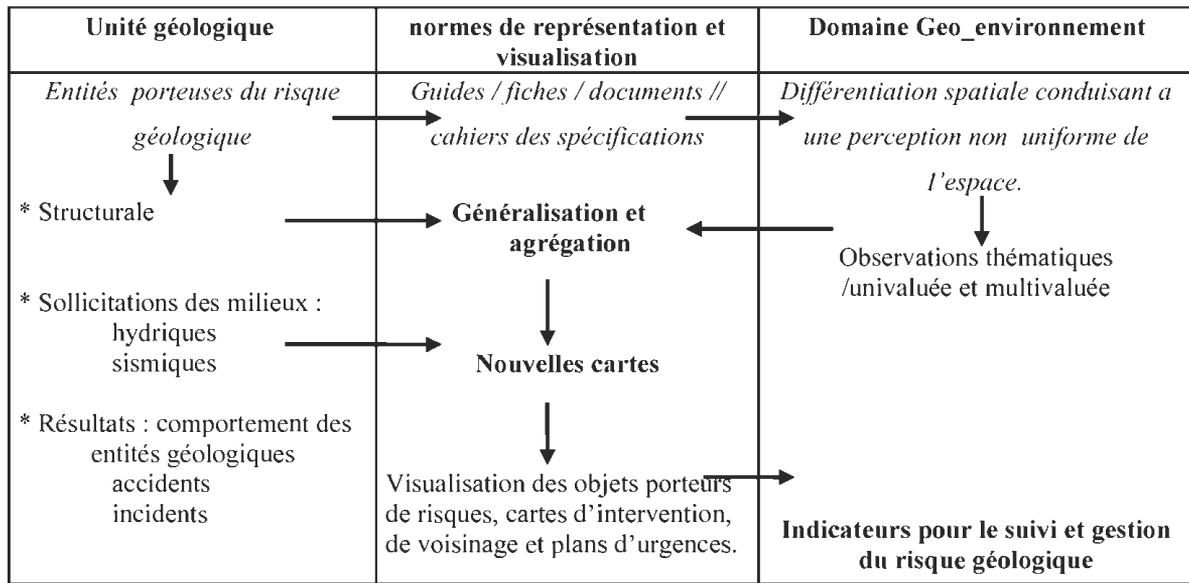


Fig. 7 Principe de Walter (1933)

La structuration de l'information technique et spatiale conduit à une modélisation de données (MCD) qui doit prendre en charge une implémentation physique des informations. Le système d'information pour l'environnement géologique (SIE) pose un double problème lié à l'inventaire des différentes informations et à leur structuration sous forme de schémas.

Cette étape d'inventaire nécessite la prise en compte d'un modèle de transfert. Pour adapter le schéma du SIE et rechercher une équivalence entre les options techniques et les éléments de cartes qui sont généralement des légendes ou des nomenclatures (tableau 1). Cette démarche permettra de réaliser un plan de prévention de risque sans oubli ni négligence.

Tab 1. Diagramme de Rimbert (1990)



La cartographie de cognition permet de définir les fonctions de généralisation et d'agrégation pour être traités par des schémas de structuration de l'information. Cette phase restera en recherche tout au long de ce projet. Le traitement cartographique doit permettre un découpage selon les périmètres de sécurité ou de surveillance des zones fragilisées.

4. Application en domaine morpho-structural

Le traitement des données satellitaires associé aux observations géologiques et géomorphologiques ont permis de définir les principaux paramètres

d'une modélisation spécifique à l'évolution de la variable surfacique 'Z' en fonction d'échelle d'auscultation géodésique utilisée (Zeroual, 2002). Dans une approche structurale, l'établissement des profils surfacique (Topo-MNT), permet la restitution de la fracturation à la base d'interfaces graphiques réalisés sur les segments de ces profils. Cette technique demeure très adaptée avec les observations paramétriques des mouvements de terrain (Nadji et al, 2004). Les applications sont nombreuses et prometteuses, particulièrement pour l'estimation du taux de friction sismique et l'évaluation de l'activité néotectonique dans les régions asismiques (fig. 8).

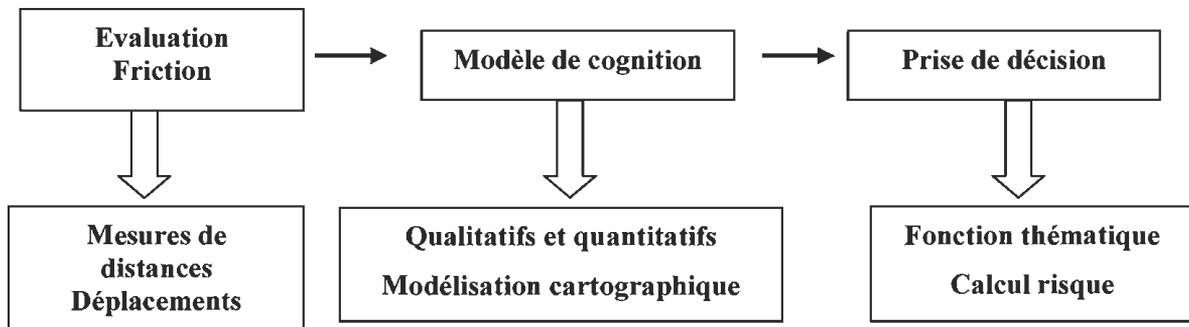


Fig. 8 Modèle cognitif permettant l'estimation du taux de friction

L'intérêt de ces applications en géologie structurale est surtout pour mettre en évidence la déformation surfacique à faveur des gradients de pente qui sont vraisemblablement significantes à la friction des terrains accidentés (Mansour et al, 2009).

Notant qu'à partir du fichier MNT (fig. 9) et lors de sa transformation en contours intégrant la direction de visualisation 'view-spécifique', on peut obtenir de meilleurs représentations des reliefs notamment la définition des rides et des bassins (endoreïques).

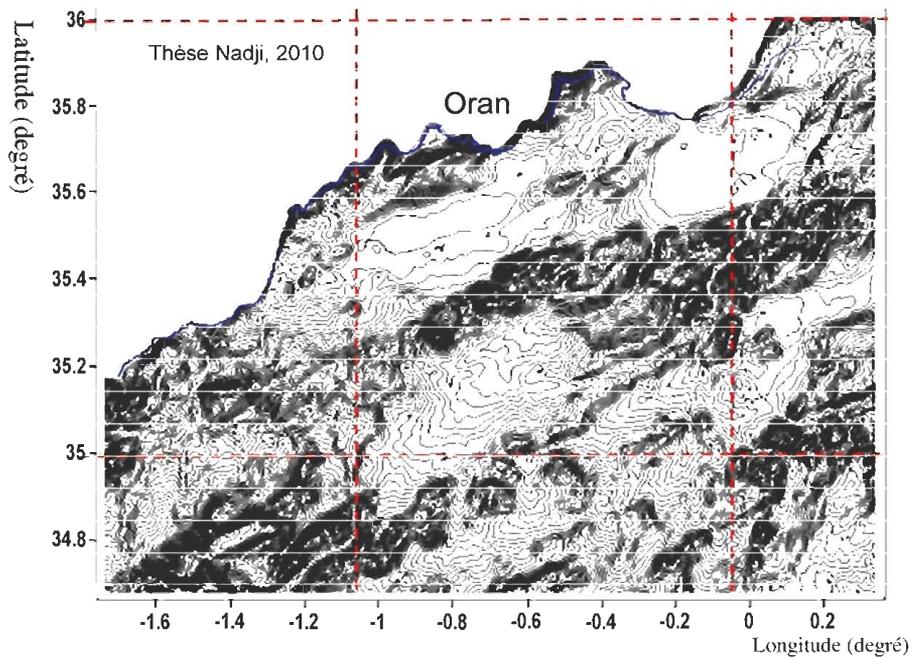


Fig. 9 Modèle numérique de terrain tramé au 1/100.000

Par ailleurs, l'acquisition du modèle tectonique associé à la dynamique des terrains permet d'en déduire la cartographie cognitive sur la morpho structure régionale; qui lors de son revêtement en éléments structuraux, on songe à restituer le schéma structural de la région (fig. 10) pour la prise de décision.

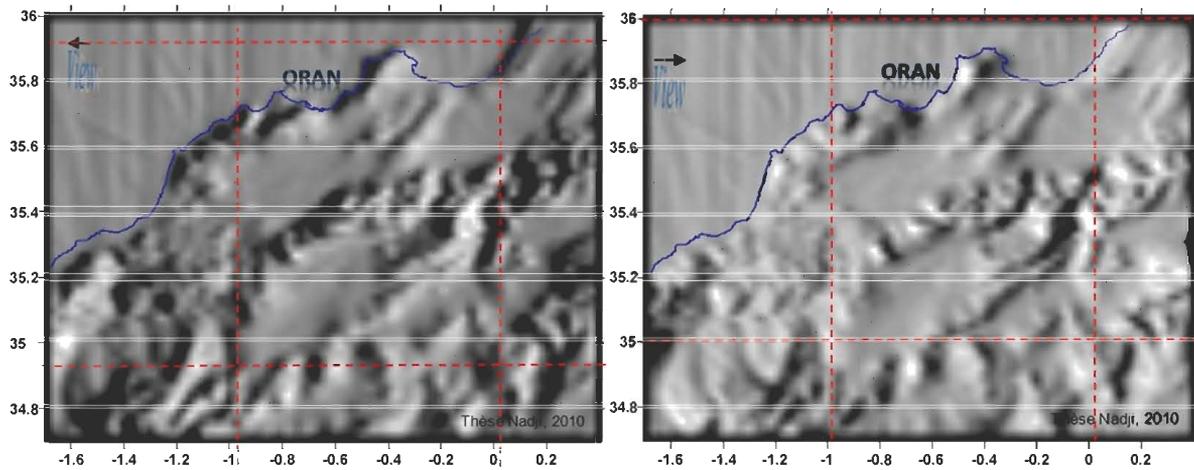


Fig. 10 Image surfacique filtrée selon la direction E - W et W - E

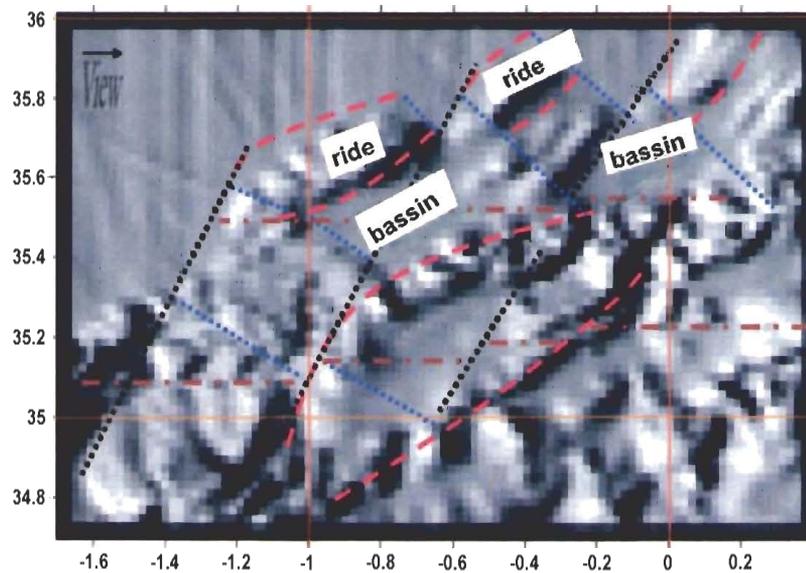


Fig. 11 Carte cognitive de la friction Morpho structurale affectant les rides et les bassins; associé aux éléments structuraux de la fracturation (Nadji, 2010)

L'application de cette technique sur la marge du littoral Oranais a donné de bons résultats, mettant en évidence des bassins et des rides (Nadji, 2010), séparés par d'accidents tectoniques (zones fragiles). L'acquisition du modèle tectonique associé à la dynamique des terrains permet donc d'en déduire la

carte cognitive qui délimite les éléments structuraux (fig. 11) pour la prise de décision.

La cartographie de cognition et la géométrie liées aux problèmes de visualisation et de perception offre un passage de calcul 2D à un calcul de mouvement 3D (fig. 12) facilitant ainsi une production cartographique sur le risque.

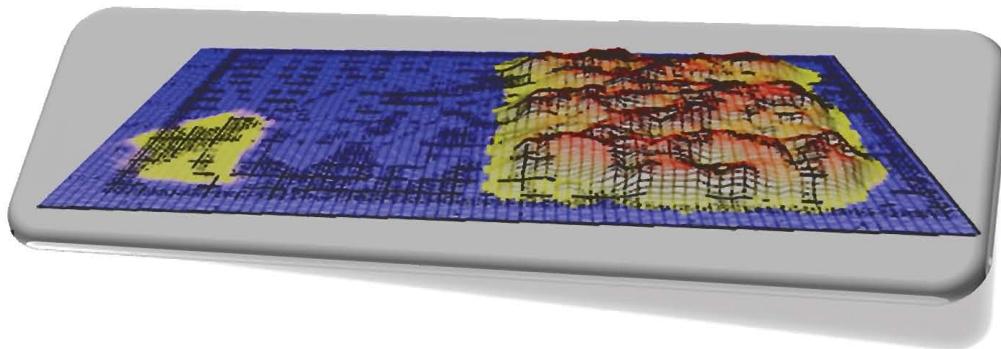


Fig. 12 Découpage Morpho-structural en rides et bassins

5. Résultats et commentaires

Le passage d'un calcul perceptif de flux d'images 2D à un calcul géométrique de projections de mouvements 3D permet une réduction drastique de complexité algorithmique. En effet, la géométrie euclidienne n'est pas une donnée mais une construction. Dans ce contexte, les applications menées en collaboration avec les différents

partenaires ont ouvert un nouveau champ d'investigation, mettant en évidence le besoin de traiter l'information à référence spatiale et ses conséquences pour la gestion du risque géologique. Sachant que les données utilisées sont insuffisantes pour maîtriser la gestion du risque géologique, il est nécessaire pour la cognition cartographique de prendre en charge les facteurs suivants :

- La localisation précise des objets porteurs de risque.
- La situation des unités et sous unités des bassins au sein des zones à risque.
- Consulter toutes les informations relatives aux bassins.
- Mise à jour automatique et en temps réel des nouvelles informations sur le risque.
- Création d'un système de gestion permettant par couches de visualiser les différentes données sur le risque.
- Résolution de problème de l'archivage et évité l'encombrement des plans.
- Précision et tolérance : transmettre en précision angulaire (0.1mm x Echelle).

Il faut mettre en place un tableau récapitulatif de toutes les précisions voulues selon des seuils préétablis. L'analyse de comportement des réseaux de surveillance à l'aide des symboles présentant les principaux incidents ainsi que l'élaboration de carte d'intervention permet d'ajuster les les Plans de Prévention des Risques (PPR).

La trilogie Accident / Intervention / Prévention doit être mise en évidence pour une meilleure appréhension de l'espace (Zeroual, 2002).

La solution cartographique intègre l'ensemble des données pour permettre une rédaction efficace du Plan de Prévention du Risque (fig.13).

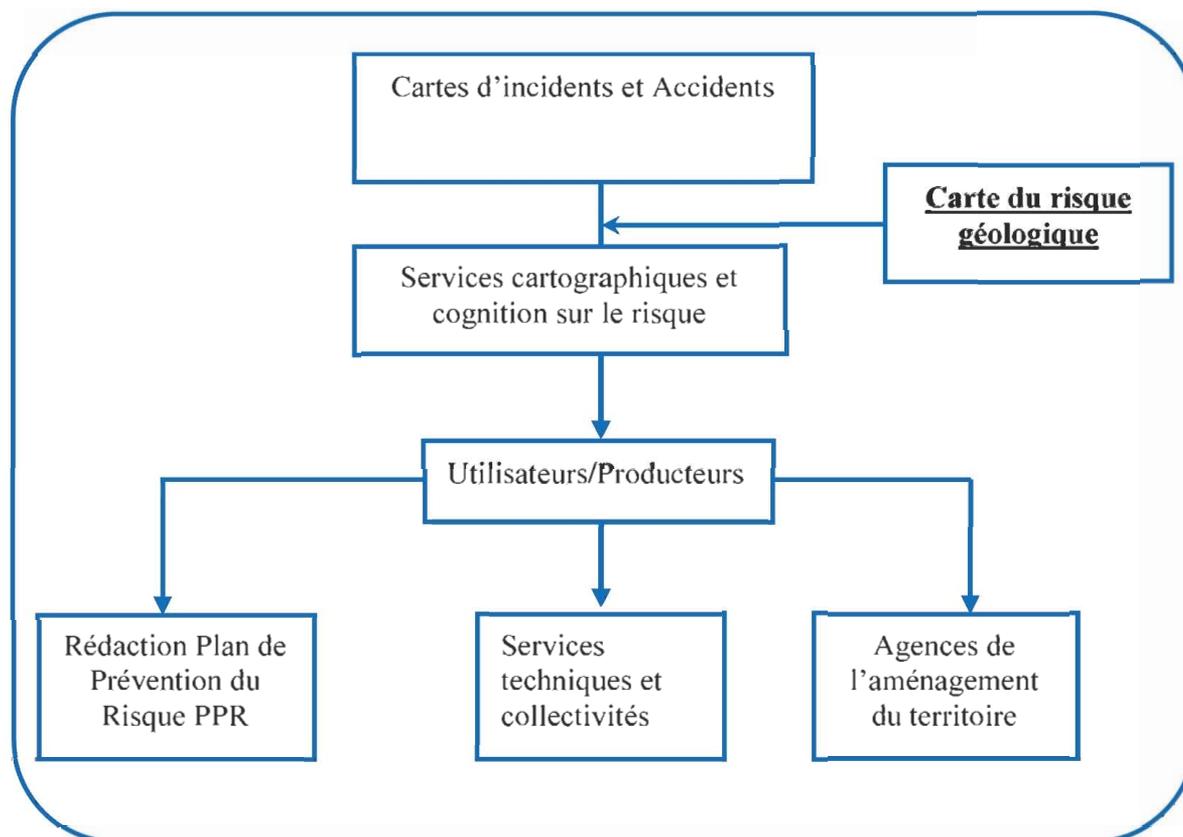


Fig. 13 Position de la carte du risque géologique dans le circuit fonctionnel

6. Conclusion

La démarche cognitive proposée dans le cadre de ce travail pourra servir à l'élaboration d'une politique visant à prévenir des inondations, des mouvements de terrain et des scénarios pour le risque géologique. Les zones vulnérables pourront faire l'objet de réglementation spécifique, concernant la localisation

des zones urbaines et industrielles, et l'aménagement du territoire. L'organisation des opérations de secours et la mise en place de plan d'urgence pour la gestion du risque seront des perspectives de cette étude en incluant les outils de la géomatique. La cartographie préventive des zones susceptibles d'instabilités reste à compléter dans le cadre de la cognition.

Les objectifs assignés dans le contexte d'une visualisation scientifique se sont basées sur les deux principes suivants :

- exploitation numérique des seules données cartographiques immédiatement disponibles (topographie et géologie), structurée et guidée par certains travaux locaux ;
- équilibre recherché entre les efforts fournis pour réaliser une cartographie à base numérique et le travail de terrain nécessaire à la validation finale.

D'un autre coté ; des points positifs sont à noter :

- l'intérêt de disposer, sur le terrain lors de la phase de tracé définitif, d'une cartographie préliminaire, basée sur des paramètres objectifs. Une fois la validité de la carte établie sur le terrain pour une zone donnée, le tracé peut être considéré comme fiable sur un secteur nettement élargi, dans la mesure où il reste homogène dans ses caractéristiques géo morphologiques. Cet aspect permet des gains de temps extrêmement appréciables. Il reste que la mise en place d'un modèle géologique 3D constituera à terme un facteur d'efficacité supplémentaire très important pour la cognition cartographique.
- les bons résultats obtenus globalement par la méthode de cartographie numérique. En Effet, seules des modifications limitées ont été apportées ponctuellement lors de la phase de validation terrain.

Références Bibliographiques

Combe J. (1990). Gestion d'un espace industriel. *Revue XYZ n°45 – 1990 pp 50-60.*

Kaufmann M (2000). Information Visualization: *Perception for Design, Colin Ware, (2e édition).*

Laurini R et Milleret - Raffort (1993). Les bases de données en géomatique. *Edition HERMES.*

Fekete, J.-D., Plaisant, C. Proceedings of the Conference on Human factors in Computer Systems (CHI'99), ACM , New York, pp. 512-519.

Mansour, H., Zeroual, I., Nadji, A. et Foukrache, M. 2009. Utilisation de l'imagerie spatiale dans la gestion du risque géologique : bilan et perspectives. *Deuxièmes journées d'études sur la géologie Algérienne, Oran 14-15 décembre 2009 Univ-Oran, Algérie.*

Nadji, A., Mansour, H et Zeroual, I. 2004. Installation d'un réseau de surveillance des mouvements de terrain sur le littoral Oranais (RGEO). *2ème semaine scientifique des universités. Université d'Oran.*

Nadji, A. 2010. Etude sismotectonique du littoral oranais. Contribution à l'aléa sismique. *Thèse de doctorat d'état, 275p. Université d'Oran, Algérie.*

Rimbert S. (1990). Carto – graphies. *Edition HERMES pp 100-200.*

Pailhous J. (1979). Le Fonctionnement cognitif : utilisation des modèles ontogénétiques. *Aix-en-Provence : Université de Provence.*

Plaisant, C. 2002. Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis 2002), Boston, USA, Octobre

Zeroual I (1998). Structuration de l'information géographique pour la gestion de l'information - qualité dans les bases de données géographiques Numériques. *Thèse de magister (CNTS. ARZEW).*

Thierry P et L. Vinet 2002 Mapping an urban area prone to slope instability: Greater Lyons Bull. of *Engineering Geology and the Environment.*

Zeroual I (2002). Définition d'un prototype SIG en cartographie du risque. *Rapport de recherche (projet national de recherche PNR).*