

ANALYSE COMPARÉE DES STRATÉGIES 'EXPERTS VS ÉTUDIANTS' LORS DE LA RÉALISATION DE CARTES DE SUSCEPTIBILITÉ

par Raffaella Balzarini, Paule-Annick Davoine, Muriel Ney

Laboratoire d'informatique de Grenoble LIG,
681 rue de la Passerelle 38400 Saint-Martin-d'Hères, France
prénom.nom@imag.fr

Afin d'optimiser l'apprentissage des SIG dans l'enseignement supérieur des Sciences de la Terre et de l'environnement, nous présentons une recherche en cours dont l'objectif est d'identifier les raisonnements et les concepts qui sous-tendent les processus de cartographie de susceptibilité avec les SIG. En s'appuyant sur des méthodologies d'analyse quantitative et qualitative des données verbales, notre recherche met en évidence les différences de stratégies entre les experts et les étudiants afin de proposer des instructions didactiques qui aident les étudiants à se rapprocher de démarches experts pour la résolution des problèmes spatiaux.

In order to enhance GIS learning and teaching in Earth Sciences higher education, we present an ongoing research that aims to identify the strategies and the concepts that underlie a suitability mapping process. Linking quantitative and qualitative verbal data analysis, our research shed light on the differences between experts and students and it suggests instructions that help students to move closer to expertise in problem-solving ability.

1 Introduction

En géoscience deux champs d'application bénéficient particulièrement des apports des SIG : la numérisation cartographique et la cartographie de susceptibilité / vulnérabilité via les méthodes d'analyse spatiale multicritère (Balzarini *et al.*, 2011). La maîtrise de ces méthodes est donc un atout indispensable au géologue car les problématiques de terrain, demandant le croisement de données multi sources, et la cartographie de modèle d'aptitude (susceptibilité / vulnérabilité) sont de plus en plus fréquentes en géosciences (Malczewski, 2004). D'un point de vue cognitif, la réalisation de cartes de susceptibilité comporte des processus relatifs à la représentation des données géographiques, leur interprétation, et leur traitement (mathématisation) nécessitant des connaissances complètes et complexes des SIG. La conceptualisation et l'analyse visuelle de ces cartes réalisées avec des méthodes multicritères, impliquent une interaction complexe de compétences et de schémas mentaux. Dans une perspective didactique, et afin de proposer des situations d'apprentissage qui poussent les étudiants vers une démarche d'expert (Petcovic et Libarkin, 2007), nous nous sommes intéressés : d'une part à analyser les processus cognitifs qui sous-tendent le raisonnement visuel (MacEachren, 1995), les

stratégies et les compétences cartographiques mobilisées lors de la résolution de problèmes d'aptitude avec des méthodes d'analyse spatiale multicritère ; d'autre part, à identifier les différences entre experts et novices. Cette recherche s'appuie sur des méthodes quantitatives et qualitatives d'analyse de données verbales, qui permettent d'identifier et formaliser la connaissance mobilisée dans une tâche cognitive (Chi, 1997).

Cet article présente les méthodologies de recherche et d'analyses adoptées, les résultats préliminaires issus du protocole expérimental et quelques pistes d'étayages didactiques qui aident les étudiants à avancer vers des compétences experts.

2 Cadres théoriques et problématique

Les sciences cognitives ont une riche tradition de recherche sur l'expertise dans différents domaines. La capacité d'abstraction, de stockage et de rappel d'un large ensemble d'informations, les stratégies de résolution de problèmes et la souplesse conceptuelle à l'intérieur d'un domaine de connaissance, illustrent ce que signifie d'être un expert (Petcovic et Libarkin, 2007).

Nous nous appuyons sur le modèle de structure mentale mobilisée lors de l'interprétation cartographique proposée par MacEachren's (1995) pour représenter et organiser les concepts ; ce modèle permet de relier les processus cognitifs issus de l'information cartographique, les rôles de la connaissance, de l'expérience, de la pratique et de l'apprentissage des lecteurs de la carte. Les experts et les novices activent des structures mentales très différentes : l'utilisation de la structure appropriée à une situation donnée, demande de l'apprentissage et de la pratique. Dans une tâche de lecture d'une carte qui représente un paysage connu, un expert activera une structure mentale qui permet non seulement de « coder » tous les objets visuels dans différents patterns, mais aussi d'intégrer toutes les relations qui existent entre les objets. (Kent et Chang, 2008). Le lecteur de carte expérimenté exprimera les entités complexes et leurs relations avec un vocabulaire étendu et des labels (Edwards, in MacEachren, 1995). L'action de labéliser implique la capacité de décrire une catégorie et de la caractériser. Plus précisément, un expert est en condition de : 1. repérer les anomalies ; 2. identifier rapidement les procédés fondamentaux ; 3. vérifier la correspondance entre l'information géométrique ou symbolique fournie par la carte et les caractéristiques géographiques du terrain représenté (Chang et al, 1985). Une autre stratégie-expert, essentielle au processus de résolution de problème a été mise en évidence par Crampton (in MacEachren, 1995): l'expert mobilise une auto-analyse de prévention d'erreurs, active et itérative, pour cibler la solution.

Le processus de réalisation d'une carte de susceptibilité comporte des « obstacles » conceptuels que nous prenons en compte pour notre analyse et dont nous donnons une synthèse.

Du point de vue de la procédure mathématique, la combinaison linéaire pondérée (*weighted linear combination WLC*) et les opérateurs Booléennes, AND d'intersection et OR d'union, sont les opérations d'analyse spatiale multicritère intégrées dans les SIG, les plus populaires. Contrairement aux opérations Booléennes, la WLC est une méthode compensatoire : elle permet de compenser, sur une même cellule, une valeur faible, induite par un critère, par une valeur plus forte, induite par un autre critère. Cette méthode semble relativement intuitive et simple à mettre en œuvre, notamment pour des décideurs, pas nécessairement experts en SIG. Néanmoins, elle est souvent appliquée sans une compréhension précise de deux aspects clés de cette approche : l'attribution des poids aux critères et les procédures de standardisation des données de différente nature, pour qu'elles soient commensurables (Malczewski, 06).

Du point de vue de la représentation, la carte résultant de la MCSA est une carte choroplèthe : il s'agit d'une représentation de quantités (plethos) relatives à des espaces, ou aires géographiques (khorê), par le moyen d'une échelle de tons gradués. Sa réalisation repose d'abord sur le choix d'une méthode de discrétisation, c'est-à-dire de division de la série statistique que l'on veut cartographier en classes, ou intervalles (Béguin et Pumain, 2007). Dans cette carte, tous les éléments appartenant à la même catégorie sont représentés avec la même symbolologie ; cette perspective se fonde sur le consensus que dans les catégories, au sens générique du terme, chaque élément qui la constitue doit être représentatif de la catégorie. La compréhension d'une carte choroplèthe dépend de la capacité de l'utilisateur d'interpréter les catégories (MacEachren 1995).

Du point de vue de l'interprétation et de l'usage de la carte de susceptibilité, nous nous appuyons sur les processus visuels de lecture de la carte établis par Marr (1985) ainsi que sur les concepts d'organisation perceptive, de catégorisation et jugement de MacEachren (1995). La vision humaine est très habile à extraire des formes d'une scène visuelle, à évaluer la profondeur et les dimensions relatives ainsi qu'à remarquer les mouvements. Une caractéristique déterminante du système visuel est sa capacité à emphatiser le contraste par rapport à l'illumination absolue et l'acuité pour le ton d'une couleur (des centaines de différences sont discriminables) par rapport à la valeur d'une couleur (par ex. dans un camaïeu, quelques dizaines de différences sont discriminables). Pour cette raison la valeur et la saturation d'une couleur peuvent être ordonnées, tandis que le ton ne peut pas. Un autre aspect qui joue dans l'interprétation d'une carte est la capacité du système visuel-neurologique à grouper des éléments extraits de la scène visuelle en « objets » (MacEachren 1995).

Du point de vue de la résolution d'un problème, la cartographie de susceptibilité présente une spécificité : elle est décisionnelle. Jankowski et Nyerges (2001) ont montré qu'une réduction de la charge cognitive est nécessaire pour faciliter le raisonnement visuel apporté par la carte. Pour que la décision soit prise, la cartographie d'aptitude demande une dernière attention : les cartes résultant des analyses doivent être « contrôlées » itérativement tout au long de la procédure ; leur validité est subordonnée à la corrélation avec la représentation de la réalité du terrain. Grâce aux technologies SIG, le raisonnement visuel sur les cartes de synthèse est facilité par leur superposition (drapées) sur des fonds de carte, que ce soit des cartes d'infrastructures, des modèles numériques de terrain représentant le relief, des globes virtuels,

ou tout simplement des cartes comportant des limites administratives. Notre cas d'étude concerne plus particulièrement les superpositions avec le relief, créé par l'ombrage sur des MNT. Leur interprétation et leur lecture est alors liée à la perception de la profondeur sur une scène 2D ou 3D. Nous nous appuyons sur la taxonomie des indices de profondeur établie par Kraak (1988) et plus précisément sur les indices « picturaux » qui nous renseignent sur la structure de l'objet et sur l'effet visuel produit.

Ces aspects théoriques nous ont permis de cadrer notre problématique sur des questions de perception et interprétation de la carte et, par conséquent, d'affiner nos analyses des structures et des objets cognitifs. Notre objectif est d'identifier les concepts, les actions et les stratégies qui supportent la tâche de cartographie de susceptibilité. Particulièrement, nous abordons une question fondamentale : quelles opérations et quels concepts sont utilisés par les experts et les novices lors de la résolution d'un problème de localisation de site avec des méthodes d'analyse spatiale multicritères ?

3 Le protocole expérimental

Pour répondre à cette question, nous avons mis en place un protocole expérimental selon les paradigmes de la Design-Based Research (Edelson 2002). Ce champ de recherche utilise des multiples méthodes telles que l'évaluation, l'analyse des productions, les observations de terrain (enregistrements), les interviews, etc. Notre protocole expérimental est basé sur la conception d'une situation-problème la plus proche possible de la réalité professionnelle et un recueil de données sur l'observation de l'activité des étudiants et experts résolvant ce problème.

3.1 Les participants

Nous avons mené l'expérimentation auprès de deux populations d'étudiants bien différenciées mais toutes deux au niveau bac +3. D'une part 15 étudiants en licence professionnelle en Sciences de la Terre et, d'autre part, 50 étudiants en École d'ingénieurs en sciences de l'environnement. Ces étudiants sont novices en analyse spatiale et SIG. Ils travaillaient par groupes de 5 à 7 étudiants. 3 spécialistes, un géophysicien, un cartographe et un ingénieur SIG, ont constitué la partie Experts de notre expérimentation. Ils ont été interrogés sur leur lieu de travail, seuls avec un chercheur, selon la méthode de la « tâche artificielle » : ils réalisent l'activité préconçue et verbalisent à voix hautes (« thinking aloud »)

leurs actions. Les chemins empruntés par l'expert lors de l'exécution de la tâche fournissent un aperçu incomparable sur le raisonnement.

3.2 La situation-problème : localiser un site

La situation-problème est la séquence pédagogique qui nous a permis d'observer les étudiants et les experts. Le problème posé appartient à la famille de problèmes identifiée comme récurrente chez les professionnels (Authentic Learning, Simon, 1962), à savoir la cartographie de susceptibilité pour la prise de décision. En l'occurrence, les sujets devaient mener une étude cartographique de susceptibilité du sol pour l'implémentation d'une station de ski dans le sud Isère. Pour cela, ils ont effectué une analyse spatiale multicritère sur des critères géomorphologiques, hydrogéologiques, climatiques et géographiques.

Pour les étudiants, nous avons disposé de 17 heures tutorées, divisées en 5 séances de 3 heures, en 1 séance de 2, distribuées sur 2 semaines. Pour les experts nous avons disposé de 4 heures. Le SIG est ArcGIS 10.0.

3.3 Le recueil de données

Nous avons recueilli trois types de données :

- les productions : les cartes des étudiants et des experts
- les données verbales : les interactions verbales des étudiants pendant les étapes-clé de la procédure de résolution (enregistrements vidéo et audio) ; les protocoles « thinking aloud » des experts (enregistrements vidéo)
- trois questionnaires à questions ouvertes : l'analyse des réponses permet de repérer les principales difficultés ressenties par les étudiants.

Nous présentons ci-après la méthode utilisée pour l'analyse des données verbales qui ont été retranscrites. Nous avons analysé 3 heures d'enregistrements pour chacun des 3 experts et 2,5 heures pour chacun des 6 groupes d'étudiants (3 groupes « géologues » et 3 groupes « ingénieurs »).

3.4 La méthode d'analyses des données verbales

Notre méthodologie d'analyse est conçue comme une approche intégrée (Chi, 1997) qui associe analyse quantitative et analyse qualitative du contenu des transcriptions. L'analyse verbale est une méthodologie pour quantifier le codage subjectif ou qualitatif

des contenus des phrases. L'objectif de cette méthode est de mettre en évidence quelles connaissances le sujet utilise pour résoudre un problème, qu'elles soient correctes ou pas. Essentiellement, cette méthode permet, à travers le codage d'éléments verbaux (*verbatim*) propres à une idée, de concrétiser l'idée même, pour ensuite pouvoir en comptabiliser ou comparer les occurrences. Les instructions de Chi (1997) comportent 8 étapes :

- 1) Réduire le protocole : réduire les données en sélectionnant quelques activités.
- 2) Segmenter le protocole réduit.
- 3) Développer le schéma de codage (schéma des catégories taxonomiques).
- 4) Identifier les *verbatim* et les affecter aux catégories taxonomiques.
- 5) Représenter le formalisme du schéma.
- 6) Identifier le(s) pattern(s).
- 7) Interpréter le(s) pattern(s) et leur validité.
- 8) Effectuer un double codage.

De tout le processus de résolution du problème de localisation de site, nous avons retenu 4 tâches fondamentales :

- T0 = la standardisation et le classement des données (discrétisation)
- T1= l'attribution des poids et l'agrégation des critères (sommés pondérés)
- T2= l'analyse visuelle des cartes résultant des sommes pondérées
- T3= le choix du site

Après avoir défini le corpus à analyser sur la base des 4 tâches retenues, il est nécessaire de segmenter les phrases pour dégager les unités de codage. La segmentation peut s'effectuer à plusieurs niveaux, révélant une granularité diversifiée telle qu'un propos, une idée, un échange, un épisode, un changement d'activité ou une impasse. Des caractéristiques sémantiques ou syntaxiques (mot-clé, connexions..) illustrent ces segments. Dans les segments nous avons identifié tous les *verbatim* ou les mots-clés, comme par ex. « montagne » ou « vallée », « station de ski » ou « nom de localité », « palette » « vert », « rouge », « seuils, %.. », pouvant constituer des groupes sémantiques, pour concevoir les catégories. Les catégories du schéma taxonomique sont donc définies selon un processus itératif dérivé des expressions et des explications des sujets (bottom-up process) et enrichi par des cadres théoriques (top-down process). Nous avons identifié

5 catégories d'objets conceptuels : algébrique, couleur, orographique, géographique et analytique (zones susceptibles). Une fois les catégories définies, les *verbatim* ont été isolés, codés et affectés à chaque catégorie pour être comptabilisés. L'opération de codage a été effectuée par deux codeurs différents. Tous les désaccords ont été ré-analysés pour atteindre un taux d'accord final de 87,8% (moyenne). La figure 1 formalise la démarche retenue pour l'analyse des données.

4 Les résultats de l'analyse qualitative

4.1 Les objets conceptuels : une proposition de taxonomie

Notre taxonomie est composée de 5 catégories, chacune représentative d'un objet conceptuel. Chaque objet est décliné par des descripteurs auxquels on a attribué un code. Il s'agit de :

- L'objet **Algébrique**, qui rassemble tous les éléments verbaux relatifs au domaine de la mathématisation de la donnée d'IG. Cet objet est caractérisé par 6 descripteurs.
- L'objet **Couleur**, qui rassemble tous les éléments verbaux relatifs au domaine de la variable visuelle couleur. Cet objet comporte 5 descripteurs.
- L'objet **Orographique**, qui rassemble tous les éléments verbaux relatifs à la description géomorphologique du terrain. Cet objet comporte 5 descripteurs.
- L'objet **Géographique**, qui rassemble toutes les expressions relatives aux éléments géographiques d'une région analysée. Cet objet comporte 6 descripteurs.
- L'objet **Zone Analysée** qui rassemble toutes les expressions qui montrent l'observation d'une ou plusieurs zones dans un but d'évaluation de l'aptitude. Cette évaluation se concrétise à travers 6 déclinaisons.

Le tableau1 présente le schéma taxonomique.

4.2 Les actions et les opérations de contrôle : des catégories

Nous avons formalisé les séquences des actions et opérations effectuées par les experts et les étudiants tout au long du processus cartographique, afin d'identifier un cheminement de résolution. Toutes les actions des processus de solution experts et étudiants ont été répertoriées. Au total, 30 actions ont été identifiées chacune caractérisée par une ou plusieurs opération(s).

Nous nous sommes intéressés particulièrement aux opérations de contrôle, que nous présentons ci-après. Nous avons catégorisé les contrôles-erreurs nous basant sur la Théorie d'Ohlsson « Learning from Error », (1997). La cartographie de susceptibilité appartient à la catégorie « des tâches de choix, caractérisée par la séquentialité, la multiplicité et le résultat. La séquentialité signifie que la tâche demande une séquence d'actions dénombrables ; la multiplicité signifie que chaque action a lieu dans un contexte où plusieurs actions peuvent être concurrentes et que seulement peu d'entre elles sont appropriées, utiles ou correctes ; les actions pertinentes sont celles guidées par le résultat. [...] Commettre une erreur dans une tâche de choix séquentiel, signifie faire une action qui est inutile et inappropriée dans un contexte spécifique. Elle entraîne des conséquences sur le milieu, appelées 'signaux d'erreur'. Puisque la connaissance guide l'action, corriger une erreur permet d'améliorer une future performance par l'application d'une structure cognitive appropriée » (Ohlsson 97, traduction libre). Le tableau 2 présente une synthèse des 3 catégories de contrôles d'erreurs que nous avons définies.

5 Les résultats préliminaires de l'analyse quantitative

Pour mettre en évidence les patterns, l'analyse quantitative a comporté les calculs de présence /absence, des occurrences et des comparaisons entre experts et étudiants aussi bien pour les objets que pour les opérations-contrôles et les actions. Les graphiques en fig. 2 présentent une synthèse des comptes.

Certes, les différences existantes entre experts et étudiants sont courantes. Toutefois, l'analyse quantitative précise les différences entre les types d'objets ou d'actions mobilisés ainsi que les écarts d'occurrences. On observe de manière générale que les experts mobilisent plus d'actions et d'objets que les étudiants dans la phase déterminante de préparation des données, la **T0**, standardisation et discrétisation des données. Afin de réduire les données à traiter les experts agissent sur l'exclusion par rapport à des seuils, tandis que les étudiants ne montrent aucune démarche dans ce sens ($T01Ex = 5$ et $T01étud = 0$) (voir fig. 3). Aussi, dès les premières étapes de la résolution du problème, les experts mettent en place beaucoup plus de contrôles que les étudiants, qu'ils soient de type vérification ou diagnostic ($CEx = 37$, $CGéol = 4$ et $Clng = 12$). L'activité- experts, plus intense dans cette phase que l'activité-étudiants, appelle un nombre plus important et plus varié d'objets : principalement l'objet algébrique ($AEx = 45$, $AGéol = 11$, $Alng = 39$) et géographique ($GEx = 9$, $GGéol = 0$, $Glng = 3$).

Dans la phase d'allocation des poids et des sommes pondérés des critères, (**T1**), les étudiants effectuent plus d'opérations de contrôle que les experts car ils sont dans une démarche empirique d'essai-erreur. **En T2**, on remarque chez les experts l'usage d'outils d'effets visuels (zoom, transparence) qui améliorent l'analyse ($T22 Ex = 2$ et $T22étud = 0$) et des actions de contrôle telles que la vérification avec le relief et le repérage d'effets seuils ; chez les étudiants les mêmes actions sont moins présentes. **En T3**, le choix d'un ou plusieurs site(s) se fait par rapport à des contrôles pour les experts surtout sur la base d'ajout d'informations et du repérage de lieux connus ($CVEx = 3$ et $CVétud = 1$).

Une modélisation réalisée au moyen d'un logiciel de *mind mapping*, XMind, a été proposée. Elle représente l'enchaînement d'actions et d'objets conceptuels sur les 4 principales tâches de cartographie d'aptitude pour la résolution d'un problème de localisation. La figure 4a et 4b montre le détail de la phase de standardisation et de classement des données (**T0**) pour un expert et pour un groupe d'étudiants.

6 Conclusions

Les résultats de notre étude, bien que préliminaires, nous ont permis de mettre en évidence les différences de stratégies (séries d'actions et d'opérations) entre les experts et les étudiants et de tracer des chemins de résolution de problème. Nous avons tiré de nos données une modélisation des objets conceptuels (en 5 catégories) et des opérations de contrôle (en 3 catégories) nécessaires à la résolution de ce problème. L'étude de l'activité de l'expert et de ses stratégies, qu'il s'agit d'une tâche de création ou d'interprétation de la carte, nous permet de finaliser les aides didactiques pour développer les compétences en analyses spatiale et visuelle complexes. Les aides peuvent être de nature méthodologique (par ex. , réduire la masse de données et cibler les objectifs de résolution en créant des masques), thématique (par ex., fournir des règles et des notions de sémiotique (usage de la couleur), stratégique (par ex., stimuler le contrôle de conflits, erreurs ou anomalies ou technique (par ex., perfectionner la manipulation des outils d'effets visuels pour renforcer l'analyse visuelle-relief, transparence, globe). La spécification de ces aides constituera la prochaine étape de notre travail. L'enseignement explicite de stratégies expertes, ainsi que l'usage de problématiques du monde professionnel et des approches collaboratives pour développer la métacognition aident les étudiants à se rapprocher de l'expertise (Petcovic et Libarkin, 2007).

Bibliographie

- Balzarini R., Davoine P-A., Ney M.**, 2011, "GIS in Geosciences Training: an experience in pedagogical-engineering", dans *Proceedings of International Cartographic Conference*, Paris.
- Béguin M., Pumain D.**,2007,. *La représentation des données géographiques*, Armand Colin, Paris.
- Chang K.T., Lenzen T., Antes J.**,1985, "The effect of experience on reading topographic relief information: analyses of performance and eye movements", *The Cartographic Journal*, 22, p.88-94.
- Chi T.H.M.**,1997, "Quantifying Qualitative Analyses of Verbal Data: A Practical Guide", *The Journal of the Learning Sciences*, 6(3), p.271-31
- Edelson D.**,2002,"Design research", *Journal of the learning Sciences*, 11(1), p.105-121.
- Hmelo-Silver C.E.**,2004., "Problem-based learning: What and how do students learn?", *Educational Psychology Review*, 16, p.235-266.
- Jankowski P., Nyerges T.** 2001, "GIS-supported collaborative decision making: results of an experiment", *Annals of the Association of American Geographer*, 91(1), p.48-70.
- Kent R., Chang P. CH.**,2008, "Expertise in a Map Reading Task : The Role of Schemas in the Processing of Topographical Relief Information", *Proceedings of the 30th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, Washington.
- Kraak M.J.**,1988, *Computer-assisted cartographical Three-Dimensional Imaging Techniques*, Delft: Delft University Press.
- MacEachren A.M.**,1995, *How maps work : representation visualization and design*. New York, Guilford Press.
- Malzewski J.**,2004,"GIS-based land-use suitability: a critical overview", *Progress in Planning*, 62, p.3-65.
- Malzewski J.**,2006, "GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature?", *International Journal of Geographic Information Science*, 20(7), p.703-726.
- Marr D.**,1985,*Vision: The philosophy and the approach. Issues in Cognitive Modeling*. London, Erlbaum.
- Newell A., Simon H.A.**,1972, *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall
- Ohlsson S.**,1996, "Learning from Performance Errors", *Psychological Review*, p. 241–262.
- Petcovic H.L., Libarkin J.C.**,2007, "Research in Science Education : The Expert-Novice Continuum", *Journal of Geoscience Education*, 55(4),p.333-339.

		A1	A2	A4	A5	A6	A7
1. Objet Algébrique	codes						
	descripteurs	exclusion, sélection booléenne	seuils, nombre et ordre des classes, discrétisation, synthèse	hiérarchie des critères, représentation des poids	somme pondérée, combinaisons	mesures (aires, périmètres, pixel)	intersections vectorielles
2. Objet Couleur	verbatim	« la pente on va dire comprise entre 15° et 50° et l'altitude entre 1000 et 3000 m » [e1]	« quelle échelle pour les classes, je ne me rappelle plus, 1, 2, 3? Je vais faire hiérarchique... » [e1]	« Donc l'alti est important, 3, la Pente aussi, 3, la distance, 2, l'orientation, 1 » [e1]	« essaie une avec alti » « 40 (4) plus 30 (P) plus 20 (E) et plus 10 (CLC) » [e1]	« on pourrait définir un nombre minimal de pixel, récupérer pour calculer l'area » [e1]	« pour croiser les données on va utiliser des outils d'intersection... » [e2]
	descripteurs	le ton et la valeur	le contraste, la dissociation et le dégradé	l'harmonie des couleurs (la palette)	les limites, les bordures	l'affichage et la transparence	
3. Objet Orographique	codes	R1	R2	R3	R4	R5	
	descripteurs	toutes les références aux connaissances du milieu (ajpm)	la nomenclature courante : montagne, plaine, vallée, versants	la nomenclature spécialisée : cote, talweg, cône	les représentations du relief : isolignes ou MNT	la lithologie, la falaise	
4. Objet Géographique	verbatim	« l'Alpes du Grand Serre est 10 fois moins enneigé que le Col de Porte qui est enneigé » [g1]	« on n'a rien en montagne et tout en plaine » [g2]	« je ne crois pas qu'il soit bon de traverser une zone rouge, ça veut dire que tu traverses un talweg, une vallée » [g3]	« on n'a pas une carte des isolignes? [g1] « je vais faire un ombrage pour voir le relief. » [e1]	« Il (le calcul) enlève les falaises, mais regarde au Saint-Eymar il les laisse et c'est trop rapide. » [e1]	
	descripteurs	Les lieux connus : stations de ski, villes, localités.	le réseau routier	le réseau hydrographique	les représentations : carte Topo, carte de fond	les espaces protégés	les infrastructures : remontées mécaniques
5. Objet Zone Analysée	codes	Z1	Z2	Z3	Z5	Z4	Z6
	descripteurs	zone observée et correspondance entre les critères, les poids	zone observée et correspondance avec la légende, les contours	zone observée et correspondance avec la nature du terrain	zones observées et sélectivité de la carte	zones observées comparées sur différentes cartes de sommets	zone observée et besoin d'informations supplémentaires
5. Objet Zone Analysée	verbatim	« quand les pentes sont très inclinées il faut que leur poids soit moins important » [e1]	« on a l'altitude 8 (légende) en blanc et l'en noir, là, ça se pas bien et là, c'est bien » [g3]	« là c'est Bourg d'Oisans, les 2 Alpes... d'ailleurs regarde, c'est la (Zoom) et c'est en vert! » [e1]	« cette carte a un peu moins de zones en rouge, plus précises, c'est un peu mieux. » [g3]	« l'autre est plus fluide mais ça restreint plus les zones et j'aurais mieux aimé que les zones soient les mêmes » [e3]	« il faudrait faire encore un maillage avec les zones à plus hauts valeurs et puis comparer avec la couche éboulis et espaces protégés » [e1]
	descripteurs						

Tableau 1 : Schéma Taxonomique des Objets Conceptuels

Codes	Type de Contrôle	Description	Exemples de Verbatim
CV	Vérification :	les opérations permettant de valider ou anticiper un choix, par ex. en comparant la même zone sur plusieurs cartes ou à la nature du terrain ou en vérifiant les résultats algébriques en légende.	« ça marque plus la transition des altitudes, ce qui est artificiel. L'alti ressort trop, on aurait dû mettre plus de classes en alti pour atténuer » [e1]
CD	Diagnostic :	les opérations permettant de reconnaître les sources d'erreur, par ex. l'usage non approprié d'une fonctionnalité, d'une requête, de seuils des classes ou de l'attribution des poids.	« il y a un problème là, on a toujours la même chose ça ne veut rien dire ! Stop ! on a tout faux ! c'est celui-ci qui est mal classé ! » [g2]
CC	Correction :	les opérations permettant d'intervenir sur l'erreur par ex. en modifiant la fonctionnalité, l'expression, l'ordre des classes ou la hiérarchie des critères.	« Je reste persuadée qu'il faut refaire le classement de 1 à 9 pour chacune, car on ne travaille pas sur les mêmes valeurs » [e3]

Tableau 2 : Catégories des opérations de contrôle

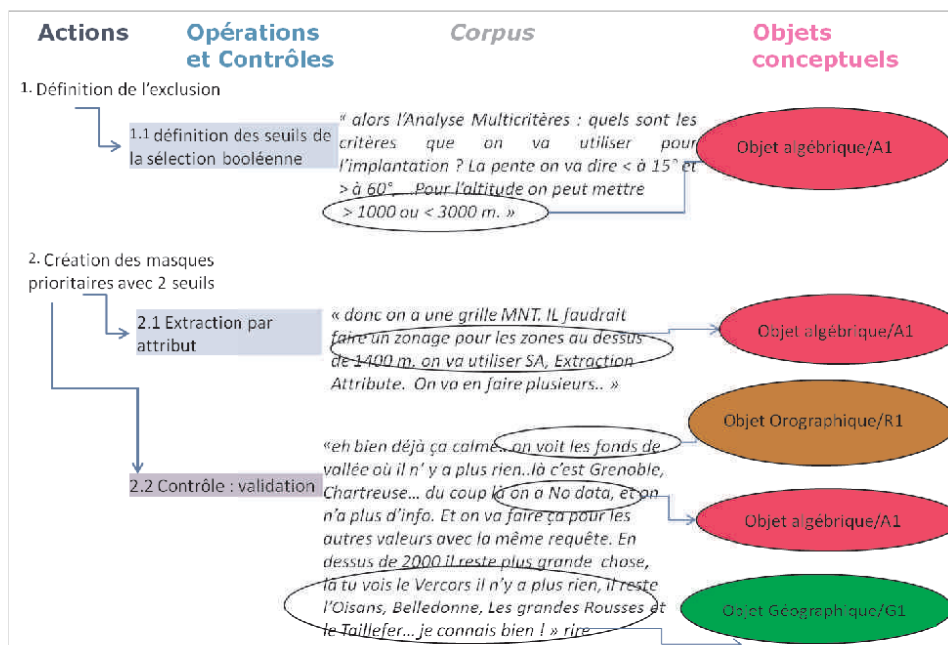


Figure 1 : Exemple de corpus : unités de codage et Verbatim

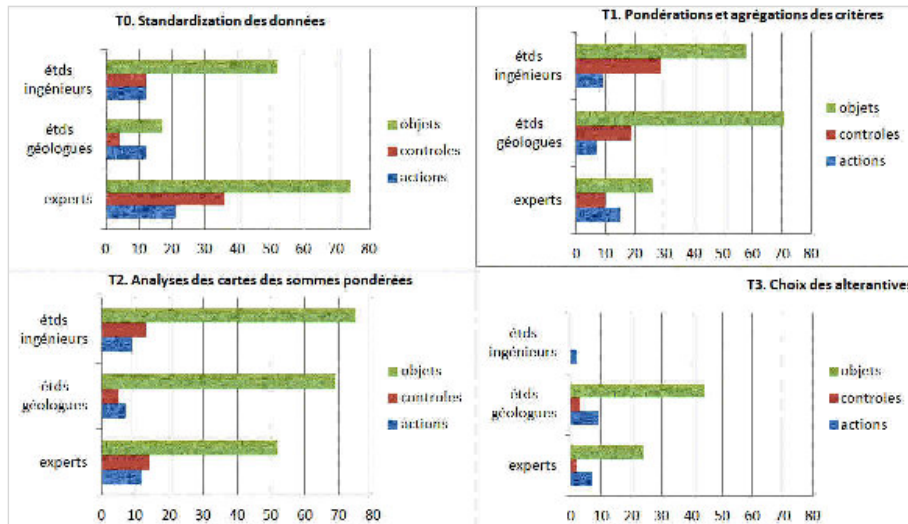


Figure 2 : Synthèses des comptages des variables sur les 4 tâches principales

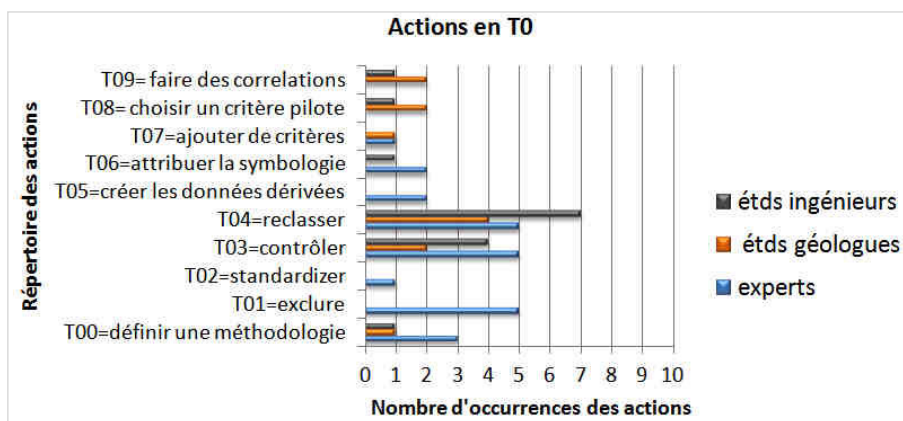


Figure 3 : Occurrences des 10 actions dans la tâche T0

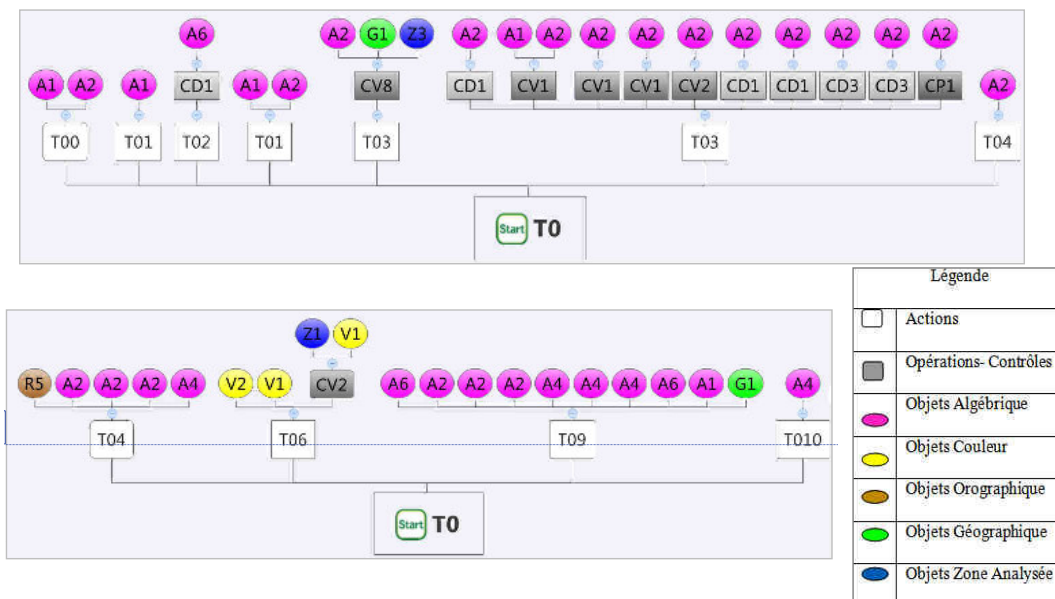


Figure 4a : Ligne expert