

Projet de Fin d'Etudes

Cartographie du risque d'inondation : perception et aide à la décision en aménagement



2007-2008

**Directeur de recherche
SERRHINI Kamal**

BIGNARD Aude

Formation par la recherche et Projet de Fin d'Etudes

La formation au génie de l'aménagement, assurée par le département aménagement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer tout une partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Sommaire

SOMMAIRE	2
REMERCIEMENTS	4
AVANT-PROPOS	5
INTRODUCTION GENERALE	7
CADRE DE L'ETUDE	9
PARTIE I - UNE PRISE EN COMPTE NOUVELLE DE LA PERCEPTION COGNITIVE EN CARTOGRAPHIE	10
CHAPITRE 1: LA PLACE DE LA CARTOGRAPHIE EN AMENAGEMENT	10
CHAPITRE 2: LES INSUFFISANCES DE LA SEMIOLOGIE GRAPHIQUE CLASSIQUE DANS LA CONCEPTION DES CARTES	13
CHAPITRE 3: VERS UNE NOUVELLE CONCEPTION DES CARTES A L'AIDE DE LA SEMIOLOGIE GRAPHIQUE EXPERIMENTALE	19
PARTIE II - PERCEPTION COGNITIVE DE LA CARTOGRAPHIE DES RISQUES D'INONDATION	29
CHAPITRE 1: CONTEXTE DU TRAVAIL DE RECHERCHE	29
CHAPITRE 2: UNE NOUVELLE APPROCHE DE LA SEMIOLOGIE GRAPHIQUE EXPERIMENTALE SUR LA PERCEPTION DES CARTES DU RISQUE D'INONDATION	38
CONCLUSIONS SUR LES DIFFERENTES ANALYSES ET RECOMMANDATIONS POUR LA CONCEPTION DE CARTES EFFICIENTES	83
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	129
LEXIQUE	132
TABLE DES FIGURES.....	134
TABLE DES SCHEMAS.....	136
TABLE DES TABLEAUX.....	137
TABLE DES MATIERES	138

Avertissement

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

Remerciements

A l'issu de ce projet de fin d'étude, je tiens tout d'abord à remercier mon tuteur, Kamal Serrhini pour la confiance qu'il m'a accordée tout au long de l'année, ainsi que pour sa disponibilité et ses conseils avisés. Merci de m'avoir fait découvrir le milieu de la recherche à travers un mémoire de recherche opérationnel.

J'exprime également toute ma gratitude à Sven Fuchs, coordonnateur autrichien du projet conjoint de recherche, et à l'équipe allemande constituée du Dr. Wolfgang Dorner et de Karl Spachinger de « University of Applied Sciences» à Deggendorf.

Je désire remercier M. Jacques Charlier (Metrovision - Lille) pour son aide technique et informatique lors de l'extraction des résultats des enregistrements du photo-oculographe.

J'adresse également mes remerciements au service des Explorations Fonctionnelles d'Ophtalmologie et de Strabologie du CHUR de Tours. Nous avons pu alors bénéficier d'un accès précieux au photo-oculographe. Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance aux membres de l'équipe du service qui ont su nous accueillir et accepter notre présence régulière.

Je souhaite dire un grand merci à Mme Christine Serrhini pour sa disponibilité et son investissement lors des journées d'enregistrement des mouvements oculaires des personnes testées. Sans elle, le projet Era-Net CRUE et ce mémoire de recherche n'auraient pas pu aboutir.

Mes remerciements vont également à la doctorante Juliette Rochman qui nous a rejoint dans le projet et aidé lors de l'exploitation statistique des résultats.

Que les différents volontaires qui ont accepté de consacrer un peu de leur temps pour l'approche du suiveur de regard soient remerciés.

Avant-propos

Les documents d'urbanisme, les documents de communication ou bien encore les Chartes contiennent des cartes. Mais ces cartes sont également utilisées dans la conception d'un projet d'aménagement, lors de leur intégration dans des études préalables au projet. A partir de la connaissance du territoire, elles sont produites, dans le but de refléter la réalité et de communiquer une information. Elles constituent pour les lecteurs, à travers la lecture spatialisée des cartes, un moyen de restituer l'organisation de l'espace et ses problématiques.

Problème général : Comment sont perçues les cartes (du risque d'inondation) par les acteurs du territoire ? Permettent-elles de faire passer un message clair pour prendre une décision appropriée ?

Dans la conception d'un projet et dans la prise de décision en aménagement, les maîtres d'ouvrage n'ont pas toujours le temps requis pour lire en entier des rapports ou des études. Aussi, par gain de temps, ils se réfèrent nécessairement aux cartes. Il semble alors important que ces cartes soient lisibles, et non un frein à la compréhension d'une problématique.

Question précise : Dans le cas des cartes du risque d'inondation qui respectent la sémiologie graphique, ces cartes sont-elles lisibles par différentes catégories d'acteurs du territoire ? Quelles sont les variables qui conditionnent leur efficacité visuelle et « cognitive », en termes de perception visuelle ?

Ainsi, sans avoir de connaissances particulières sur la sémiologie graphique ou sur le risque d'inondation, l'utilisateur de ces cartes peut-il sans trop de difficultés s'approprier le message rendu par ces cartes ? Cela revient à chercher si pour certaines catégories d'acteurs la perception de la carte est la même que pour d'autres et quels sont les critères fondamentaux qui ont permis de restituer le message de la carte.

« Les études les plus récentes (...) ont montré que la carte, considérée comme un véritable langage, résultant d'un « faire » spécifique, est une médiation symbolique puissante, capable de s'interposer d'une façon autonome dans la communication. (...) elle constitue un instrument d'une indéniable efficacité et d'une grande puissance pour mettre en acte l'appropriation intellectuelle du territoire »¹.

En effet, la cartographie reste un outil d'aide à la décision et à l'aménagement. Aussi, « l'interprétation de la carte est un moment de l'action spatiale qui préfigure des stratégies de production, d'utilisation et de médiation de l'espace »².

Lors d'un colloque³, des travaux ont amené une réflexion sur la représentation graphique retranscrite dans l'ouvrage *Les Cartes de la connaissance*. « Une carte n'est jamais neutre. Elle signifie autant qu'elle décrit. La représentation graphique de la réalité se fait à destination de lecteurs spécifiques en fonction du thème abordé et de l'information qui doit être transmise »⁴. Pour prévenir du risque d'inondation, les collectivités locales se dotent dans leurs documents d'urbanisme ou dans les PPRI (Plan de Prévention des Risques d'Inondation) de cartes sur le risque d'inondation qui permettent de visualiser les potentiels risques encourus

¹ Jacques Lévy et Michel Lussault, *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Belin, 2003, p.134.

² *Ibid.*, p.135.

³ Colloque *Cartographie, Géographie et Sciences Sociales*, Tours, septembre 2000.

⁴ Jean-Paul Bord, « Le dessous des cartes », dans *Les Cartes de la connaissance*, Karthala-Urbana, 2004.

et d'aider les acteurs du territoire à prendre des décisions en matière d'aménagement et en cas de gestion de crise.

Notre étude de la perception s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche européen EraNet-Crue sur la cartographie du risque d'inondation.

Il s'agit de comprendre comment professionnels, élus, urbanistes, aménageurs ou autres acteurs du territoire perçoivent ces cartes dans les premiers instants de la perception des cartes qui leurs sont présentées.

Dans le cas des cartes du risque d'inondation qui respectent la sémiologie graphique, ces cartes sont-elles lisibles par différentes catégories d'acteurs du territoire, qu'ils soient élus, cartographes, citoyens ou étudiants ?

En prenant en compte les principes de la sémiologie graphique, nous pouvons nous interroger sur la manière dont les cartes sont perçues, si le message ou les informations qui devaient être communiqués, ont bien été appropriés par les utilisateurs.

Est-ce que la perception des cartes par des individus correspond à ce qu'avait voulu faire passer comme message le cartographe de la carte ?

La perception est propre à chaque individu, elle correspond à ce qu'il sélectionne, prélève comme informations pour se les approprier et aider à prendre des décisions et à prendre en compte les risques dans l'aménagement.

Il s'agit alors d'évaluer l'efficacité de la cartographie qui décrit ou est censée décrire la réalité. Faut-il réaliser des documents, des cartes en fonction du public auquel ils s'adressent compte tenu de résultats qui regrouperaient des catégories d'individus entre eux ?

A l'heure actuelle, où les frontières européennes s'amenuisent voir semblent s'effacer, et notamment dans les projets transfrontaliers, il est intéressant de voir si la nationalité des personnes, le fait qu'elles côtoient ou non le territoire étudié influent sur leur perception et leur attention requise pour une carte ou pour certains éléments de cette carte. Cette étude de la perception est réalisée avec deux approches expérimentales complémentaires. L'une consiste à montrer une série de cartes du risque d'inondation à des groupes d'individus hétérogènes d'Autrichiens, Allemands et Français durant une quinzaine de secondes et à enregistrer les mouvements oculaires des personnes testées à l'aide d'un appareil disponible au CHU de Tours, le vidéo-oculographe. Dans la deuxième approche, après avoir visionné les cartes du risque d'inondation, ces personnes devront remplir une enquête « cognitive ».

Ces deux approches devraient permettre de distinguer peut-être des perceptions visuelles différentes selon la catégorie à laquelle appartient l'individu testé, déterminer des variables fondamentales pour les cartes du risque d'inondation, et mettre en évidence une lecture et une appropriation différentes des cartes en fonction de la nationalité, de la connaissance au préalable de l'espace concerné par le risque d'inondation et des compétences en cartographie.

Introduction générale

La carte, vieille de quelques siècles⁵, s'est vue être utilisée pour différentes raisons et améliorée au cours du temps avec les découvertes et l'évolution des moyens techniques. Aujourd'hui, elle apparaît d'une grande importance en aménagement pour mieux appréhender notre territoire, mais aussi pour localiser installations et grands équipements publics sur le territoire, et prévenir de certains risques. Pour les acteurs du territoire, les pouvoirs décisionnels et politiques, comprendre et assimiler avec plus d'efficacité les informations que possède un territoire ou un espace géographique, est primordial.

Les cartes sont à destination d'une multitude d'acteurs qu'il s'agisse d'élus, de professionnels en aménagement, de pompiers, d'étudiants ... Dans ce mémoire de recherche, l'interrogation porte sur l'efficacité d'une carte, sur le message perçu par ceux qui la lisent. L'utilisateur de ces cartes peut-il sans trop de difficultés s'approprier le message rendu par ces cartes ?

Les cartes sont de nos jours réalisées avec de plus en plus de précision grâce au Système d'Information Géographique et à des logiciels développés. Cependant elles se doivent de suivre les règles de la sémiologie graphique, afin d'homogénéiser la forme et la technique de réalisation des cartes entre de nombreux pays, pour plus de facilité dans la compréhension des cartes, dans une ère où les frontières entre les pays s'amenuisent⁶.

Malgré ce respect des règles et d'homogénéisation, les cartes sont-elles lisibles rapidement par un plus grand nombre ? Pour essayer de rendre compte de la perception des cartes, dans ce projet de fin d'étude, un protocole expérimental est mis en place avec un video-oculographe (voir la partie II chapitre 1), afin d'enregistrer les mouvements oculaires.

De cette recherche ressort deux caractéristiques ; d'une part le caractère opérationnel de ce travail, compte tenu de son application concrète et possible sur un territoire donné et sur des cartes déterminées ; d'autre part, le caractère novateur et expérimental, avec l'utilisation d'un matériel peu développé en France, qu'on l'on peut trouver au Centre Hospitalier Universitaire de Tours, en vue de traiter des pathologies en ophtalmologie.

Ainsi, « le langage cartographique doit être *visuel* et obéir aux règles générales de la perception. Il doit également être *universel*, c'est à dire compréhensible par tous. Il doit enfin être *clair* et cohérent c'est-à-dire éviter l'excès de redondance, la surcharge... »⁷

Nous tenterons dans la progression de ce rapport, de répondre aux objectifs généraux qui sont les suivants :

- Mettre en évidence une lecture de carte et des stratégies visuelles propres à chaque individu ou groupe d'individus
- S'interroger sur les critères qui permettent l'évaluation de la qualité d'une carte : lisibilité, cohérence et clarté
- Comprendre le schéma « lisibilité, compréhension et appropriation des cartes » par les acteurs du territoire
- Améliorer la perception des cartes en optimisant leur conception pour une aide à la décision
- Eclaircir l'idée de l'adaptation d'une carte en fonction du destinataire

⁵ Kamal Serrhini, *Évaluation spatiale de la covisibilité d'un aménagement. Sémiologie graphique expérimentale et modélisation quantitative*, Thèse de doctorat : Aménagement de l'espace et Urbanisme, Tours : laboratoire du CESA, 2000, p.134.

⁶ *Ibid.*, p.152.

⁷ Rapport ERA-Net CRUE, Intitulé du projet conjoint de recherche : Development of flood risk in mountain catchments and related perception (RISKCATCH), Intitulé de la proposition française : Sémiologie graphique expérimentale et cartographie du risque d'inondation (SGE), 2008.

Avant de continuer, il est nécessaire de définir et d'éclaircir certaines notions qui sont et seront employées fréquemment par la suite, comme les termes de perception, lisibilité, stratégies visuelles.

La lisibilité est une notion d'ergonomie qui peut être définie comme « une aptitude du texte à se faire comprendre » (Bourque, 1989), soit l'aptitude d'un texte, d'une carte ou d'un graphique à être lu rapidement, compris aisément et bien mémorisé.

En psychologie cognitive, la perception est définie comme la réaction du sujet à une stimulation extérieure, ainsi que comme le « processus de recueil et de traitement de l'information sensorielle immédiate que nos sens nous délivrent »⁸. Il s'agit de la manière dont le lecteur va prendre connaissance de la carte et sa prise de conscience de l'état du territoire et des risques d'inondation.

Ici, nous considérerons la stratégie visuelle comme la manière dont un observateur déploie les différents mouvements oculaires possibles lors de l'exploration d'une image.

Un arrêt préalable sur un bref historique de la cartographie va nous permettre dans un premier temps de comprendre pourquoi dans notre recherche nous nous intéressons à la cartographie et quelle place prend-elle aujourd'hui.

Notre travail se base essentiellement sur une nouvelle approche de la cartographie, de sa perception visuelle de différents utilisateurs, appelée Sémiologie Graphique Expérimentale.

Partant de travaux de recherche sur la perception cognitive et l'oculométrie, nous tenterons de comprendre la nécessité d'une telle approche et nous nous interrogerons sur les stratégies visuelles développées par les différents utilisateurs des cartes.

Pour cela, dans une première partie, un chapitre (chapitre 1) sera amené à resituer la cartographie dans son histoire pour arriver à l'utilisation actuelle généralisée de la cartographie dans de nombreux domaines et notamment celui de l'aménagement.

Un second chapitre de cette partie I, vise à rappeler très brièvement la conception des cartes et les règles de la Sémiologie Graphique classique, tout en mettant l'accent sur des insuffisances observables lors de cette conception. Nous tenterons de comprendre d'où provient ou ce qui est à l'origine de telles insuffisances.

Le dernier chapitre (chapitre 3) de la partie I s'attarde sur des travaux déjà effectués sur la perception visuelle et cognitive. Dans un premier temps il permet de se familiariser avec le procédé de l'oculométrie, puis, dans un second temps il aborde les réflexions et les principes qui s'en dégagent, connus aujourd'hui.

La deuxième partie sera consacrée entièrement à notre nouvelle approche de la Sémiologie Graphique Expérimentale sur la perception des cartes du risque d'inondation. Il s'agit de déterminer des stratégies visuelles de personnes n'ayant pas toutes les mêmes compétences en matière de cartographie. Nécessairement nous présenterons dans un premier chapitre (partie II chapitre 1) le protocole expérimental et les conditions de réalisation de l'étude.

Un deuxième chapitre analysera les résultats des différents enregistrements des mouvements oculaires obtenus, afin de répondre aux objectifs précédemment cités. Enfin, nous tirerons profit des analyses effectuées et de la réflexion en amont pour dicter certaines recommandations quant à la conception des cartes en conclusion. Ces recommandations seront des suppléments aux règles de la sémiologie pour permettre à tout utilisateur des cartes du risque d'inondation de se les approprier de manière efficace.

⁸ <http://fr.wikipedia.org/wiki/Perception>

Cadre de l'étude

Dans le cadre du programme de recherche ESPON (European Spatial Network Planning) 3.4.3 (MAUP) coordonné par le professeur Claude GRALAND (Paris 7), l'approche Sémiologie Graphique Expérimentale a été mise en œuvre d'une manière exploratoire pour l'évaluation de cartes d'aménagement issues des travaux de chercheurs du consortium de l'ESPON. A la suite de ce programme, un projet conjoint de recherche est lancé, RISKCATCH.

Notre projet de fin d'étude, présenté ici, s'inscrit dans le cadre de ce contrat de recherche européen ERA-Net CRUE, dont le projet s'intitule « Development of flood risk in mountain catchments and related perception », en réponse à l'appel à projets pour Era-Net CRUE 2006. Le projet conjoint de recherche RISKCATCH a été établi entre 3 partenaires : Allemand, Autrichien et Français.

Ce projet interdisciplinaire RISKCATCH vise à fournir des solutions innovantes, pratiques et viables pour une évaluation et une gestion intégrée du risque d'inondation (bassin de montagne et dans les zones inondables associées)⁹.

L'objectif de RISKCATCH réside dans la quantification de l'évolution temporelle du risque associée à une étude de la perception du risque d'inondation par divers acteurs (riverains, élus, utilisateurs, etc.).

Les différents scénarios du développement spatio-temporel du risque d'inondation ont abouti à la réalisation de cartes spécifiques. Ces dernières sont le support de notre étude sur la perception en utilisant la méthode dite de sémiologie graphique expérimentale (SGE).

⁹ RISKCATCH, projet conjoint de recherche, réponse à l'appel à projets pour Era-Net CRUE 2006.

Partie I - Une prise en compte nouvelle de la perception cognitive en cartographie

Chapitre 1: La place de la cartographie en aménagement

Pour comprendre la nécessité des cartes et de la cartographie dans l'histoire et encore aujourd'hui, il semblait judicieux de s'arrêter sur un historique de cette cartographie. Il ne s'agit pourtant pas ici de faire un historique exhaustif, ni de parler des débuts de la cartographie¹⁰. L'objectif est de donner des exemples passés et actuels de l'utilité et de l'utilisation de la cartographie.

Section 1 - La cartographie à travers l'histoire

Au XVIème siècle, les explorations de Christophe Colomb et de Vasco di Gama, et la découverte du Nouveau Monde vont être capitales dans la maîtrise et le contrôle du commerce maritime des épices et dans l'exploitation de nouvelles ressources, de nouvelles terres. Cela revient alors à l'époque à détenir des cartes maritimes ou même du Nouveau Monde, pour permettre à l'Espagne et au Portugal d'affirmer leur puissance maritime. « La carte devient alors un synonyme de richesse et d'extension. C'est le symbole d'une puissance économique mondiale apportant respect politique et notoriété au sein des pays voisins. »¹¹

Au XVIIIème siècle, la cartographie française à caractère civil et la cartographie à dominante militaire¹² connaissent un essor considérable. Au cours de ce siècle, les enjeux sont des enjeux de guerres et de rivalité. Il s'agit également de garder les colonies en les protégeant de toute tentative d'invasion. « La carte est un véritable outil d'aide à la décision en matière de choix de futurs emplacements d'aménagements militaires »¹³ dans les colonies. Jusque là, la carte avait gardé un caractère civil dans la mesure où elle offrait une représentation de la connaissance d'un site et une description d'un espace géographique. Il s'agissait, à travers une meilleure connaissance du territoire ou de l'espace maritime, d'optimiser sa gestion ou son exploitation. Puis au cours du siècle, la cartographie devient un outil militaire « au service des intérêts politico-militaires du Roi »¹⁴.

¹⁰ Pour cela, se référer à la thèse de Kamal Serrhini et aux travaux qui l'en ont inspiré de George KISH, Ivan KUPCIK, du Comité Français de Cartographie parmi lesquels Sylvie RIMBERT, Monique PELLETIER, Colette CAUVIN..., etc.

¹¹ Kamal Serrhini, Thèse de doctorat, *op.cit.*, p.144.

¹² Monique Pelletier, « Formation et missions de l'ingénieur géographe militaire au XVIIIe siècle », in Colloque européen « La cartographie topographique », Actes du colloque de Paris, 29 et 30 octobre 1992, Paris : C.T.H.S., 1995, p. 73.

¹³ Kamal Serrhini, Thèse de doctorat, *op.cit.*, p.150.

¹⁴ *Ibid.*, p.152.

« La carte, instrument scientifique, administratif ou économique, devient désormais un outil de guerre indispensable dont la précision et le secret sont les principaux caractères. La cartographie de précision en général et la cartographie militaire en particulier, sont à l'origine de la cartographie topographique. »¹⁵

Au XIX^{ème} siècle, mûrit la volonté de réaliser des cartes sur les mêmes approches, les mêmes procédés et les mêmes techniques que la cartographie scientifique¹⁶. C'est au cours de ce siècle que la cartographie va apparaître comme plus rigoureuse et centrée sur le contenu et non plus sur un aspect esthétique de la carte. « Ainsi, nous pouvons affirmer que la cartographie moderne s'est complètement débarrassée de l'ensemble des aspects subjectifs, décoratifs, ou encore religieux pour répondre aux exigences certes anciennes mais de plus en plus fortes notamment en termes de traitement de quantité de données, de précision des représentations, de la rapidité de reproduction... »¹⁷. Alors que la carte était considérée comme l'illustration de la réalité, la carte moderne vise plus à retranscrire des concepts, des idées et des composantes du territoire. La carte apparaît « comme moyen de restitution et de communication d'informations relatives à la mesure des impacts visuels d'un futur aménagement pour l'aide à la décision »¹⁸. Elle est pour cela nommée « carte-idée » ou encore « carte-modèle »¹⁹.

Ainsi nous passons au cours du temps de cartes de description à des cartes plus conceptuelles en passant par des cartes de navigation ou encore des cartes militaires.

Section 2 - L'utilisation faite des cartes de nos jours

Aujourd'hui, les documents d'urbanisme, les documents de communication ou bien encore les Chartes contiennent des cartes. Elles sont également utilisées dans la conception d'un projet d'aménagement, lors de leur intégration dans des études préalables au projet. Elles remplissent là encore des fonctions bien distinctes les unes des autres. Nous pouvons les retrouver dans l'éducation, l'information et la sensibilisation.

Grâce au Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM), la population est ainsi avertie et sensibilisée aux risques majeurs de la commune ou du territoire²⁰. Le DICRIM décrit les actions de prévention mises en place par les villes pour réduire l'impact d'un risque majeur sur les personnes, les biens et l'environnement, et présente l'organisation des secours. Il a également pour but d'informer la population sur les consignes de sécurité à respecter pour se protéger.

La préparation et la gestion de crise d'un territoire se met en place également à travers les cartes. En 1982, le gouvernement décide de développer une politique de prévention des risques. Elle se veut plus efficace que les précédentes. Pour cela, elle prône une connaissance et une prise en compte des risques ou phénomènes majeurs bien en amont, lors de la planification. L'information préventive et la gestion de crise en font également des mesures de cette politique. « Longtemps ignorée ou sous-utilisée, la cartographie, qui est un outil de localisation et de communication par excellence, s'est naturellement inscrite dans cette

¹⁵ *Ibid.*, p.152.

¹⁶ *Ibid.*, p.153.

¹⁷ *Ibid.*, p.157.

¹⁸ *Ibid.*, p.157.

¹⁹ *Ibid.*, p.157.

²⁰ Voir le DICRIM en annexe n°1.

logique au sein de laquelle elle occupe maintenant une place privilégiée »²¹. Ainsi dans le cas des crues, il s'agit de les anticiper et de délimiter des périmètres d'intervention.

Des cartes conçues par des services de Bassin délimitent des périmètres d'intervention de l'Etat pour prévenir des inondations et pour la transmission de l'information sur les crues.

« Si la cartographie permet de situer les connaissances préalables des phénomènes et de règlementer l'occupation des sols, elle a aussi un rôle à jouer au moment où les événements surviennent pour indiquer les voies de circulation accessibles, les équipements sensibles (postes EDF, centraux téléphoniques, etc.), les établissements recevant du public (hôpitaux, écoles, etc.) »²². Les plans de vulnérabilité des PER (Plan d'Exposition aux Risques) contenaient ces informations, qui étaient obligatoires lors de leur élaboration. Les services de la sécurité civile en ont vite perçu l'intérêt, et plusieurs villes et départements ont intégré ces données dans leurs problématiques pour dresser des cartes spécifiques de secours. Les pompiers vont alors s'en servir ; elles représentent un outil précieux quant à l'accessibilité de lieux d'intervention.

Les Plans de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) contiennent eux aussi des cartes mais sur le risque d'inondation. Ils définissent la zone inondable à prendre en compte pour l'aménagement et l'urbanisme (permis de construire, usage des bâtiments en zone inondable, etc.) et réglementent l'utilisation des sols en fonction du risque naturel inondation. Ils permettent ainsi de délimiter des zonages de risque²³. Ce document est réalisé par l'Etat en étroite concertation avec les communes concernées.

Les cartes se trouvent aussi sous forme de cartes publicitaires, pour indiquer le site où l'on peut trouver un produit ou encore pour mettre en valeur une région. Elle aura ici facilement un rôle informatif et stratégique, permettant ainsi au client de se repérer dans cet espace géographique et de plus facilement s'y intéresser.

²¹ Gérald Garry, *Evolution et rôle de la cartographie dans la gestion des zones inondables en France*, Paris, Ministère de l'Equipement, des transports et du tourisme, Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme, Villes et Territoires, Mapped Monde 4/1994, p.10.

²² *Ibid.*, p.14.

²³ Voir le PPRI en annexe n°2.

Chapitre 2: Les insuffisances de la sémiologie graphique classique dans la conception des cartes

Section 1 - La conception de cartes en sémiologie graphique classique

A- Le modèle linéaire de la Sémiologie Graphique classique

La conception d'une carte suit un procédé précis et universel. Des spécialistes²⁴, des géographes²⁵, des cartographes ou bien encore des aménageurs réalisent ces cartes par des techniques acquises lors de leur formation et avec le respect des règles de la sémiologie graphique. Ces concepteurs de cartes partent d'une problématique du territoire que le spécialiste (cartographe) ou émetteur va traduire par l'élaboration d'une carte à destination du lecteur ou récepteur. Comme le montre le schéma ci-dessous, la sémiologie graphique classique actuelle suit un modèle linéaire.

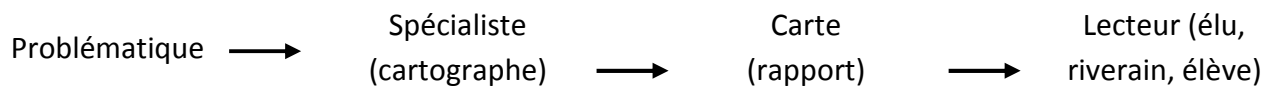


Schéma 1 : Modèle linéaire de la Sémiologie Graphique Classique

Ce modèle actuel ne permet pas une communication ou un retour, un échange entre l'émetteur et le récepteur du fait de son caractère linéaire. Il ne semble donc pas considérer, à aucun moment de la conception de la carte, le lecteur (sa culture, son degré d'initiation à la cartographie, sa représentation). « Un tel modèle de communication ne fait qu'accroître la part des aspects culturels et subjectifs dans toute production graphique, la rendant nécessairement fragile d'un point de vue scientifique »²⁶.

Nous sommes amenés à nous demander quelles sont ces règles de la Sémiologie Graphique qu'intègrent le cartographe lors de la conception et la réalisation d'un document graphique ; et quelle forme prennent-elles, de quel type sont-elles ? Rendent-elles le document graphique plus objectif et plus neutre ?

²⁴ Jacques Bertin, *La graphique et le traitement graphique de l'information*, Collection Nouvelle Bibliothèque Scientifique, Paris, Flammarion, 1977.

²⁵ Michèle Beguin et Denise Pumain, *La représentation des données géographiques*, Paris, Armand Colin, 1994.

²⁶ Rapport ERA-Net CRUE, *op.cit.*, p.4.

B- Quelques recommandations de la Sémiologie Graphiques

La sémiologie graphique repose sur de nombreux principes qui s'appliquent tant sur des données quantitatives que qualitatives : contraste, association de figures géométriques, nombre et types de pictogrammes, utilisation de la couleur, etc.

Nous allons à présent énoncer quelques règles de cette sémiologie graphique, afin de voir qu'il existe réellement un processus de conception de la carte qui tente d'homogénéiser la technique d'élaboration des cartes mais également de les rendre les plus lisibles possibles.

« Il était difficile en cartographie de faire totalement l'économie de la couleur, la fonction première de celle-ci n'étant pas d'ordre esthétique, mais taxonomique (...) : la couleur est essentiellement appliquée pour aider à distinguer, souligner, associer, opposer ou hiérarchiser des éléments. »²⁷

Aussi, « quand il s'agit de représenter avec la couleur un caractère ordonné, une carte "correcte" devrait utiliser un dégradé dans une seule couleur »²⁸. Lors de l'utilisation de cette couleur, « en perception sélective, il est prudent de ne pas dépasser six à sept paliers de valeur- noir et blanc compris »²⁹ pour un souci de différenciation des couleurs.

D'autres règles de la Sémiologie Graphique sont établies en fonction du type de données (ponctuelles, linéaires ou zonales)³⁰ qu'a en sa possession le cartographe, et des figurés bien précis sont à utiliser et à respecter.

Section 2 - Les insuffisances de la sémiologie graphique classique

Le programme de recherche ERA-Net CRUE a montré des failles en matière de respect des règles de la sémiologie graphique dans les documents graphiques français du risque d'inondation (informationnels ADRM ou réglementaires PPRN³¹).

Le cas de figure qui vous est présenté ci-dessous, est également un exemple d'utilisation incorrecte de la Sémiologie Graphique. La carte est esthétique et semble respecter à première vue la Sémiologie Graphique. Cependant, la lecture de cette dernière n'est pas aisée compte tenu de la plage de couleur de la légende. En effet, du fait d'un nombre important de classes, les différents rouges ou bleus ne sont pas ou peu différenciables. Pour cette carte d'ESPON, nous n'avons qu'une seule variable, la GDP/inh, mais deux palettes de couleur. La plage de couleur est donc trop importante puisqu'elle fait intervenir plus de sept couleurs différenciables.

²⁷ Catherine Hofmann, « L'enluminure des cartes et des atlas imprimés XVIe – XVIIIe siècle » - Bulletin du Comité Français de Cartographie, France, Bulletin n°159, Paris : CFC, 1999, p.36.

²⁸ Michèle Beguin et Denise Pumain, *op. cit.*, p. 59.

²⁹ Jacques Bertin, *Sémiologie graphique*, Paris-La Haye : Mouton, Paris : Gauthier-Villars, 1967, p.73.

³⁰ Voir le tableau synthétique en annexe n°3.

³¹ Ministère de l'Aménagement de Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, *Plans de prévention des risques naturels PPR. Risques d'inondation. Guide Méthodologique*, Paris, La Documentation Française, 1999.

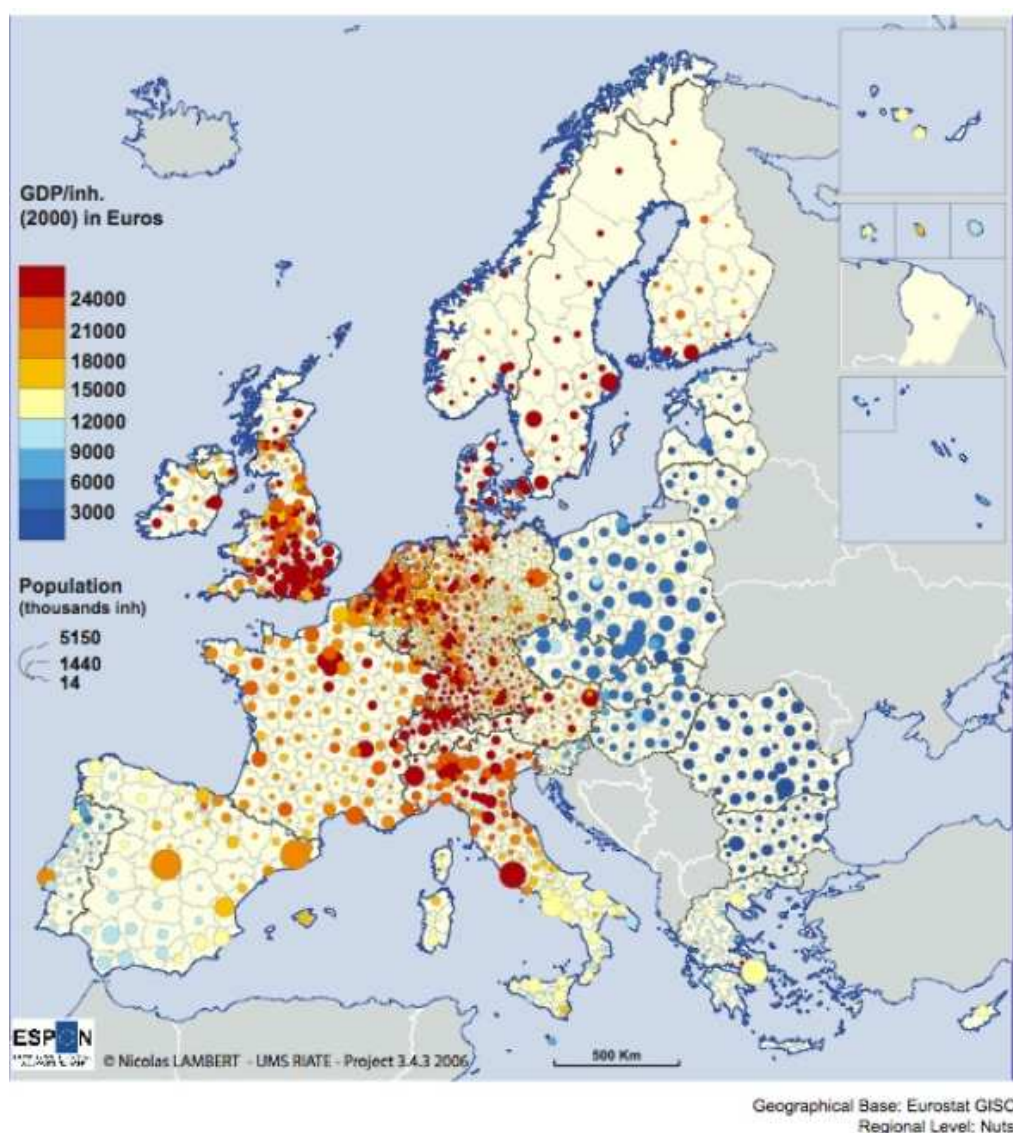


Figure 1 : GDP/Inh (en euros) en 2000

Ici, les recommandations de la sémiologie graphique n'ont pas été toutes suivies pour la conception de cette carte, puisque « quand il s'agit de représenter avec la couleur un caractère ordonné, une carte correcte devrait utiliser un dégradé dans une seule couleur »³².

Sur des cartes du risque d'inondation, la tâche n'est pas plus aisée. Certaines cartes retranscrivent un trop grand nombre d'informations sur la carte proprement dite et sur la légende³³. Les idées fortes apparaissent alors complexes.

Dans ces cas là, le destinataire des cartes et des PPRI ne semble pas avoir été pris en considération. Le caractère technique d'une carte constitue souvent un obstacle à sa compréhension. « En effet, bien souvent, l'information, y compris quand il s'agit des cartes des PPRN, pose des problèmes de transmission des données scientifiques parfois difficiles à

³² Denise Pumain et Michele Béguin, 1994, *op.cit.*, p.59.

³³ Voir la carte du Plan de Prévention des Risques Naturels d'Inondation, de la Vallée de la Seine qui se trouve en annexe n°3.

appréhender par le grand public qui ne dispose pas forcément des pré-requis indispensables»³⁴.

De même, depuis ces deux ou trois dernières décennies, de nouveaux groupes d'utilisateurs, liés à de nouvelles problématiques sont apparus, notamment dans le domaine de l'aménagement de l'espace et du territoire. Les méthodes de productions des cartes et les règles de sémiologie graphique en vigueur depuis près de deux siècles ne conviennent plus nécessairement aux « nouveaux » usagers.

Section 3 - Les limites des règles de la SG face à la perception anthropique et iconique

Dans sa thèse, K.Serrhini s'interroge sur la perception d'une image, sur le fait qu'elle soit ou non identique d'un individu à un autre. Dans le cas où elle est différente, il parle de perception anthropique, et cherche à savoir quelle est alors la perception propre, relative à l'image elle-même. Au travers de sa démarche, nous nous apercevons assez vite que malgré un processus récepteur-émetteur unique (à l'origine de la perception), il existe une multiplicité de perceptions et de comportements qui en découlent³⁵.

Par des exemples simples, il met en évidence l'existence d'une interaction entre une image et un individu à travers la perception. Dans le premier sens de l'interaction, c'est à dire de l'image vers l'individu, l'image s'impose en termes de lecture à l'individu de part son contenu et son organisation. Si l'on généralise, les individus lisent alors tous de la même façon l'image. A l'inverse, l'image est lue par un « schème » propre à l'individu, et dans ce cas il y a donc une diversité de lecture ou de perception de l'image.

Pour arriver à de tels constats, il prend deux images de la planète Mars et montre que « la perception d'une image considérée comme étant "saine" idéologiquement, ne générera pas toujours les mêmes réactions de la part d'un groupe d'individus : l'expression de la dimension socioculturelle est forte »³⁶. La démonstration faite à travers cet exemple semble très simplifiée et partielle mais constitue une idée que partagent de nombreux chercheurs. Il montre également que la perception peut évoluer dans le temps ou, en tout cas dans l'exemple pris, dans la journée (peintures de Monet³⁷). « Les facteurs anthropiques (culture, apprentissage, représentations...) associés à la nature de la discipline de chaque individu, sont ici les éléments et les instruments qui orientent la perception individuelle, sous un angle donné, de l'image pour un objectif spécifique. »³⁸ Ainsi, la perception d'une image est propre à chaque individu, qui constitue sa propre représentation de l'image.

De plus, des travaux universitaires viennent appuyer ce concept, grâce à des enregistrements de stratégie visuelle. Des observateurs devaient se prêter à un exercice qui avait pour consigne de regarder et de compter les lettres « E » qui apparaissaient en rouge sur un document, document « composé d'un ensemble de lettres isolées et éparpillées sur la surface de la diapositive »³⁹.

³⁴ Nathalie Pottier, Yvette Veyret, Nancy Meschinet De Richemond, Gilles Hubert, Claire Reliant et Jocelyne Dubois-maury, « Évaluation de la Politique publique de prévention des risques naturels », in *Risques naturels et aménagement en Europe*, Actes colloque 22-24 Oct. 2002, Édition Armand Colin, 2002, p.51.

³⁵ Kamal Serrhini, Thèse de doctorat, *op.cit.*, p.198.

³⁶ *Ibid.*, p.210.

³⁷ *Ibid.*, p.202.

³⁸ *Ibid.*, p.212.

³⁹ *Ibid.*, p.231.

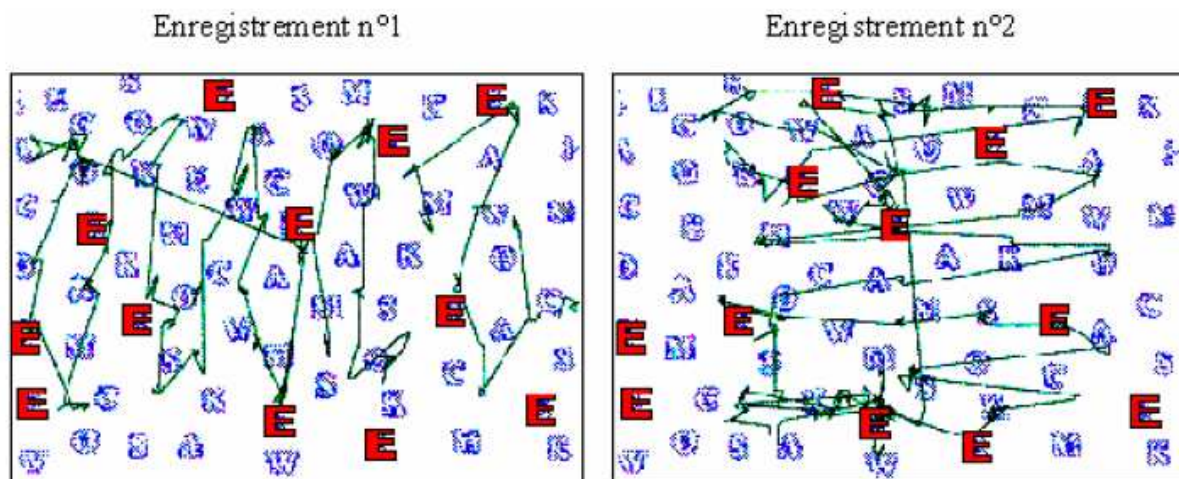


Figure 2 : Explorations visuelles sous consignes d'un "texte"⁴⁰

Les enregistrements font apparaître des explorations de document, appelées stratégies visuelles ou encore stratégies perceptives, bien distinctes d'un individu à un autre. Alors que l'enregistrement n°1 met en évidence une lecture verticale du document par un des sujets, l'enregistrement n°2 montre une lecture horizontale. K. Serrhini considère qu'il existe « un certain raisonnement ou une certaine logique dans l'exploration du texte. Cette logique est très certainement due à l'influence de la lecture en général d'un texte latin : effets de facteurs culturels dans la perception (éducation, apprentissage) »⁴¹. Cependant, il ajoute que « cette logique d'exploration du texte est complètement différente lors de la perception d'une image ».

L'auteur David Marr essaye d'apporter des théories explicatives concernant les stratégies du regard lors de la visualisation d'une image. La théorie⁴² de ce dernier est fondée sur la « segmentation perceptuelle » ou encore la décomposition d'une image lors de sa perception. Il s'agit d'isoler les uns des autres les groupes de mouvements oculaires ou groupements perceptifs. Il apparaît alors clairement que « la perception du sujet opèrerait par stades », ce qui n'est pas le cas de la lecture d'un texte dont la stratégie visuelle semble restée linéaire et continue.

Quant est-il alors des stratégies visuelles des sujets lors de la lecture d'une carte ? Peut-on parler de logique d'exploration ou bien les sujets opèrent-ils de la même manière que pour une image, avec une stratégie visuelle fragmentée en regroupements de mouvements oculaires ? Ou s'agit-il d'une combinaison des deux ?

La section 2 du chapitre 2 (Partie I) de cette recherche sur les insuffisances de la sémiologie graphique classique et les travaux sur la mise en évidence d'une perception anthropique et iconographique, atteste de l'importance de ne pas rester au stade de la Sémiologie Graphique avec un modèle linéaire mais de prendre en compte la perception et la réception de l'information du lecteur.

⁴⁰ Christine Mary, *Le photo-oculographe : outil d'analyse chez les personnes atteintes de dégénérescence maculaire liée à l'âge*, D.U. Techniques de compensation du handicap visuel, Paris (Université René Descartes - Faculté de Médecine Cochin-Port-Royal), 1999, p. 36.

⁴¹ Kamal Serrhini, Thèse de doctorat, *op.cit.*, p.231.

⁴² David Marr, *Vision: a computational investigation into the human representation and processing of visual information*, New York, W. H. Freeman and Company, 1982.

Dans notre recherche, nous proposons d'inverser alors l'ordre préexistant en établissant une sémiologie graphique à partir du récepteur et non pas uniquement à travers l'émetteur. On considère avant tout les propriétés et les caractéristiques de la perception visuelle d'un lecteur en général et des sujets qui sont destinés à lire le document cartographique en particulier (riverains, touristes, décideurs...). Dans une telle perspective, la communication cartographique suivra le processus en boucle suivant : récepteur – émetteur – récepteur (schéma 2 ci-dessus).

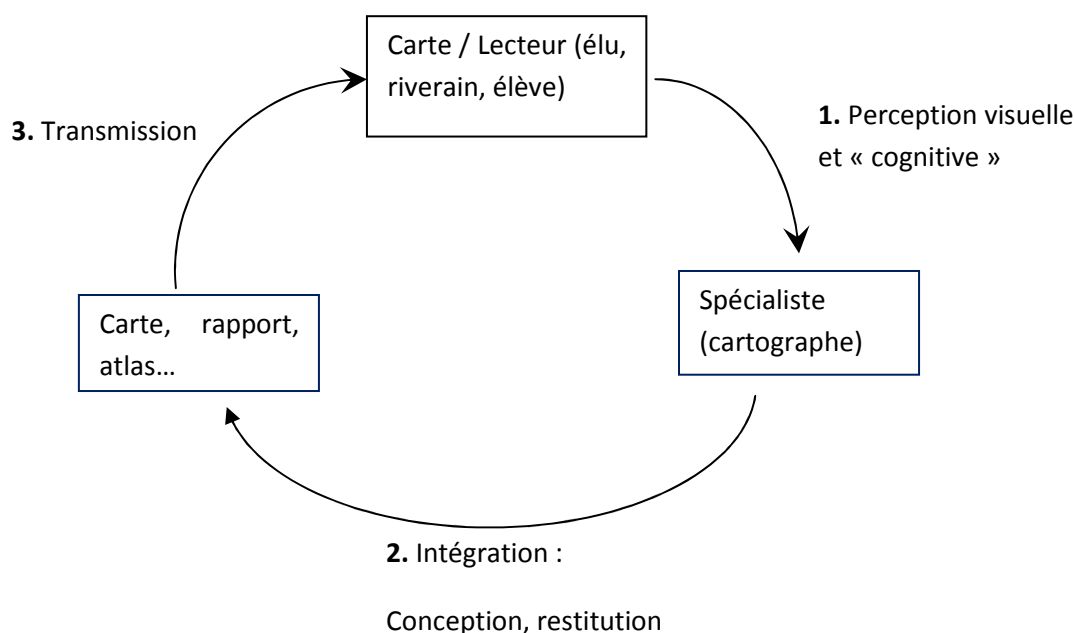


Schéma 2 : Modèle de la Sémiologie Graphique Expérimentale

Actuellement, la prise en compte de la population fait souvent appel aux méthodes d'enquêtes directes ou indirectes (questionnaires, entretiens, réunions de concertation) où la part des aspects subjectifs (culturels) est non négligeable. Il s'agit pour nous, dans cette recherche d'obtenir des résultats plus objectifs à travers la Sémiologie expérimentale. L'objectif est de savoir si la sémiologie graphique est seulement une affaire de spécialiste comme dans le modèle linéaire ou permet de prendre aussi en compte les besoins différents des acteurs (l'accessibilité sur les sites d'intervention est une priorité pour les pompiers, pour l'aménageur l'intérêt de comprendre ces cartes et de pouvoir identifier les zones constructibles ...), comme le fait le modèle en boucle.

Des questions⁴³ se posent donc :

- Comment rendre plus objective la sémiologie graphique ?
- Peut-on proposer une sémiologie graphique basée sur l'expérimentation et pas uniquement sur l'expérience du spécialiste ?
- Comment inverser le processus de réalisation d'une carte c'est à dire partir du lecteur vers le spécialiste puis retour au lecteur ?

⁴³ Rapport ERA-Net CRUE, *op.cit.*, p.4.

Chapitre 3: Vers une nouvelle conception des cartes à l'aide de la Sémiologie Graphique Expérimentale

Section 1 - L'oculométrie cognitive et ses débuts

Notre recherche, portée ici sur les impressions premières et immédiates d'un individu lorsqu'il regarde des cartes, est basée sur l'oculométrie cognitive.

L'oculométrie cognitive est une méthode objective qui permet dans une certaine mesure d'appréhender en temps réel les processus cognitifs sous-jacents à une activité, dans notre cas, la lecture de cartes, en enregistrant les mouvements oculaires d'un sujet.⁴⁴ L'enregistrement des mouvements oculaires fournit une trace spontanée, directe et mesurable de l'attention du sujet en action⁴⁵. L'idée développée est d'enregistrer, d'analyser et d'interpréter la trace du regard lors d'une tâche, pendant la lecture d'un document par exemple, pour en tirer un diagnostic sur la pertinence de ce document, aux niveaux de la structure et du contenu, en passant par la description du « décours temporel (fixations, refixations) et spatial (saccades, scanpaths, positions sur le stimulus) des opérations cognitives, qui sous-tendent les comportements »⁴⁶.

L'analyse des mouvements oculaires des sujets engagés dans une tâche de lecture permet donc d'évaluer, au-delà de leur propre style cognitif dans cette tâche, le degré de difficulté d'interprétation présenté par la tâche elle-même.

Cette activité cognitive est fondamentale chez l'homme⁴⁷ lors de son exploration du document pour la compréhension du contenu. De plus, cette exploration est fortement rattachée aux propriétés de mise en page définies par les auteurs et également à la sémiologie graphique.

La majorité des études oculométriques ont été réalisées dans le champ de la lecture, cependant certains auteurs se sont intéressés très tôt également à l'étude du traitement « on line » des illustrations⁴⁸, comme la nomme Emmanuel Schneider dans sa thèse (les exemples sont nombreux : Yarus, 1965, Loftus & Mackworth, 1978, Hegarty & Just, 1989, Hegarty, 1992, Carroll, Young & Guertin, 1992) et ce jusqu'à nos jours (Rayner, Motello, Stewart, Keir & Duffy, 2001, Holsanova, Rahm & Holmqvist, 2006, Johansson, Holsanova & Holmqvist, 2007). Mais l'oculométrie cognitive ou technique d'enregistrement des mouvements des yeux est depuis longtemps utilisée en psychologie⁴⁹.

Les premiers travaux oculométriques (de mesure des mouvements oculaires) datent de la fin du XIX^e siècle. Menées par Javal, Lamarre (Javal, 1878 ; Lamarre, 1893), les recherches portent principalement sur l'activité de lecture.

⁴⁴Thierry Baccino et Laure Léger, *L'apport de l'oculométrie cognitive en psychologie*,pdf.

⁴⁵ Jean Caelen, Véronique Eglin, Solange Hollard et Brigitte Meillon, *Mouvements oculaires et évaluation de documents électroniques*, <http://isdn.enssib.fr/archives/axe3/clips-Cide6.pdf>, p.1.

⁴⁶ Thierry Baccino et Laure Léger, *op.cit.*

⁴⁷ Jean Caelen, Véronique Eglin, Solange Hollard et Brigitte Meillon, *op.cit.*, p.2.

⁴⁸ Emmanuel Schneider, *Améliorer la Compréhension des Processus Dynamiques avec des Animations Interactives*, Thèse de Doctorat, Mention Psychologie, Université de Bourgogne, p.83.

⁴⁹ E.B Huey, « On the Psychology and physiology of reading », *The American Journal of psychology* XI, 1900, p.283-302.

Un peu plus tard, un courant de recherches s'oriente vers ce qui est donné à voir aux sujets, à l'organisation du stimulus, et s'intéresse à sa perception. La « Gestalt »⁵⁰ (psychologie de la forme) met en évidence l'importance de caractéristiques présentes dans l'image (Wertheimer, 1912 ; Köhler, 1929 ; Koffka, 1935). Les partitionnements et les regroupements d'éléments de l'image forment des premières organisations. Les chercheurs produisent alors des figures géométriques susceptibles d'expliquer tel ou tel phénomène de perception, comme nous avons pu voir plus haut dans le Chapitre 2 Section 3 (Partie I).

Après la seconde moitié du XXème siècle, des recherches visent à montrer les effets de consigne sur l'exploration oculaire.

Dès 1967, Yarbus a montré que, lorsque l'on demandait à des témoins d'observer une carte, leur regard était attiré par les endroits de l'image présentant une plus grande densité d'informations (et que ceux-ci concentraient donc les fixations)⁵¹. Yarbus a également démontré que le regard passait d'une fixation à une autre en réalisant des mouvements oculaires plus rapides : des saccades. Il montrait que les parcours oculaires (séquences de fixations et de saccades) des participants sur une même image différaient selon la tâche qu'on leur donnait : exploration libre, « déterminer le statut social des personnages présents sur l'image » ou « déterminer leur âge ».

Certaines de ces conclusions avaient d'ailleurs été ébauchées par les études avant-gardistes de Bruswell (1935) qui avait déjà distingué deux types de mouvements oculaires :

- un enchaînement de mouvement rapides (< 100 ms) et de courtes poses, constituant un survol de l'image,
- des fixations plus longues de 100 à 1300 milli secondes, correspondant à l'examen des composantes principales de l'image.

Bruswell avait également établi le lien entre la durée des fixations et la complexité du processus de perception et identifié une relation forte entre le nombre de fixations et la densité de l'information dans la partie de l'image où elles s'étaient concentrées.⁵²

Dès le début des années 1970, les cartographes s'intéressèrent au processus de lecture des cartes et l'examinèrent grâce aux méthodes d'enregistrement des mouvements oculaires (Muerhcke, 1972). Ils partaient de l'hypothèse que ces études produiraient de nouveaux savoirs permettant l'amélioration de l'utilisation des règles de la sémiologie graphique. De cette façon, les cartographes ambitionnaient de produire des cartes plus efficaces et d'acquiescer un meilleur contrôle sur la façon dont ces cartes seraient lues par les usagers. Bien que ces hypothèses n'aient pas encore pu être confirmées, d'importants travaux ont été réalisés dans ce domaine.⁵³

Wolf (1970) a notamment montré que les stimuli visuels complexes nécessitaient un plus grand nombre de fixations que des stimuli plus simples.

Ainsi, ces travaux contribuent à l'installation d'une vision cohérente de la perception cognitive depuis les années 70 (McConkie, Rayner aux Etats-Unis ; O'Regan en France) couplant activité oculaire et activité cognitive (Levy Schoen, 1988 ; Vitu, O'Regan, 2005).

En 1978, Rayner faisait un premier état de l'art très complet sur cette méthode en décrivant les différents domaines de la psychologie cognitive qui utilisaient l'oculométrie : la lecture, la perception visuelle, la recherche visuelle d'information.

⁵⁰ S. Breux, B. Caillaud, J. Giacalone et H. Roussel, *Comportement visuel et complexité exploration de structures aléatoires à 1 & 2 dimensions*, <http://www.unicaen.fr/mrsh/publications/autres/complexite/complexe6.pdf>, p.1

⁵¹ Voir les définitions de la section 3 du Chapitre 3 (Partie I)

⁵² Lars Brodersen, Hans H.K. Andersen et Steen Weber, *Applying eye-movement tracking for the study of map perception and map design*, National Survey and Cadastre, Denmark, 2001, p.13.

⁵³ *Ibid.*, p.13.

Just et Carpenter (1980) avaient confirmés les résultats de Bruswell en montrant que les fixations sur une zone restreinte étaient relativement stables, jusqu'à ce que l'information contenue dans cette zone (un mot par exemple) ait été comprise. Selon ces auteurs, la durée de ces fixations variait de 70 à 1200 ms, en fonction de la valeur cognitive de l'information, laissant de côté le reste de l'image durant la fixation.⁵⁴

Viviani⁵⁵, quant à lui a montré que la durée des fixations augmente en fonction de l'importance des éléments présents dans une scène visuelle⁵⁶.

Depuis l'"eye-mind hypothesis", émise en 1980 par M. Just et P. Carpenter⁵⁷, l'observation des mouvements oculaires s'est affinée, et a permis, par exemple, de mettre en lumière une stratégie globale de déplacement du regard vers une position optimale, en fonction d'indices uniquement visuels, et des tactiques locales de réajustement en fonction d'interprétations plus élaborées de données visuelles et linguistiques.⁵⁸ C'est la théorie dite "stratégie et tactiques", proposée par le groupe Regard de l'Université Paris V⁵⁹.

Rayner affirme⁶⁰ également que les mouvements oculaires d'un sujet engagé dans une tâche de lecture, reflètent bien les processus cognitifs à l'œuvre dans cette activité. Comme nous l'avons dit précédemment, l'enregistrement des mouvements oculaires fournit donc une trace spontanée, directe et mesurable de l'attention du sujet en action.

L'enregistrement et l'analyse des mouvements oculaires ont été utilisés dans différents domaines, notamment dans la marine (Hansen et Itoh 1995) et dans l'aviation (Weber et al 2000)⁶¹. Ces études étaient réalisées dans le but d'évaluer la position du regard et les comportements visuels déployés pour saisir les informations contenues dans le support graphique.

L'évaluation plus détaillée de l'efficacité des cartes nécessite toutefois une analyse plus subtile des stratégies du regard, ce qui implique des méthodes d'analyse spécifiques.

Goldberg et Kotval (1998) ont proposés une méthode basée sur l'enregistrement des mouvements oculaires, pour évaluer la qualité de l'information spatiale symbolique. Cette méthode repose sur une liste de mesures des mouvements oculaires selon deux dimensions :

- La dimension temporelle, prise en compte grâce à la mesure du temps d'observation passé sur les différents éléments visuels constitutifs de l'image et,
- La dimension spatiale, appréhendée grâce à l'amplitude et la direction des mouvements oculaires lorsqu'ils se déplacent d'un point à un autre de l'image.

Plus tard, tous ces travaux aboutiront à l'élaboration de principes ou lois de regroupement (Ninio, 1998; D'Ales, Froment, Morel, 1999).

⁵⁴ *Ibid.*, p.13.

⁵⁵ P. Viviani, « Eye movements in visual search: cognitive, perceptual and motor control aspects », in *Eye Movements and their Role in Visual and Cognitive Processes*, Amsterdam: Elsevier, Editions E. Kowler, 1990, pp. 353-393.

⁵⁶ Thierry Baccino et Teresa Colombi, « L'analyse des mouvements des yeux sur le web », in *Les Interactions Homme-Système : perspectives et recherches psycho-ergonomiques*, Paris : Hermès, Editions A.VomHofe, 2001, pp.127-148.

⁵⁷ M. A. Just et P. A. Carpenter, « A Theory of Reading, From Eye Fixation to Comprehension », *Psychological Review*, n°87, 1980, p. 329-354.

⁵⁸ J. Caelen, V. Eglin et S. Hollard, « Evaluation de documents par oculométrie », http://www-clips.imag.fr/geod/User/jean.caelen/Publis_fichiers/Oculometrie.pdf.

⁵⁹ J.K. O'Regan, « Eye movements and cognitive processes », in *Eye movements and their role in visual and cognitive processes*, North-Holland, Editions E. Kowler, Elsevier Science Publishers, 1990.

⁶⁰ K. Rayner, A. Pollatsek, « Eye Movements and Scene Perception », in *Canadian Journal of Psychology*, n° 46, 1992, p. 342-376.

⁶¹ Lars Brodersen, Hans H.K. Andersen et Steen Weber, *op.cit.*, p.13.

Mais c'est surtout à partir d'une vingtaine d'années que l'oculométrie cognitive a été largement développée et utilisée pour rendre compte des traitements cognitifs⁶². Ce sont en particulier les travaux sur la lecture qui ont permis de préciser toute l'étendue des indicateurs cognitifs pertinents extraits grâce à cette technique par le fait d'avancées technologiques marquantes (couplage des systèmes oculométriques et des ordinateurs) et de développements théoriques sur le langage.

Dans le champ de l'ergonomie cognitive, l'enregistrement oculométrique est également connu depuis longtemps bien que les premiers systèmes étaient très contraignants. Il a été employé pour évaluer le comportement des conducteurs⁶³ ou des pilotes aéronautiques⁶⁴, pour connaître les stratégies d'inspection de tableaux numériques⁶⁵ ou pour estimer le marketing publicitaire⁶⁶. À l'ère du numérique, de nouveaux supports de documents et de nouveaux domaines de recherches sont apparus. Ainsi, avec le développement des Technologies de l'Information et de la Communication (Web, CDRom,...) et le besoin croissant d'évaluation des interfaces Homme/Ordinateur (IH/O), l'analyse des mouvements des yeux fournit un ensemble de mesures objectives et relativement directes des processus cognitifs engagés lors de la recherche d'informations ou la compréhension d'un document.

Plus récemment l'oculométrie cognitive s'est étendue à d'autres domaines comme la production écrite ou l'ergonomie cognitive des interfaces. « Pourtant en France cette méthode a été assez peu utilisée alors que les perspectives de recherche qu'elle propose sont très prometteuses et que les techniques se " démocratisent " ». Des dispositifs d'enregistrement des mouvements oculaires sont aujourd'hui développés en ergonomie cognitive pour valider des interfaces informatiques par exemple, et en marketing pour mesurer tel ou tel impact de présentation de produits, et intéressent considérablement les publicitaires, les designers, les cartographes...

L'oculométrie est utilisée par les ergonomes et les webmasters pour les aider dans les choix de conception et de design des sites web. Ce procédé (évaluation ergonomique) est nécessaire pour ceux qui conçoivent des interfaces de logiciels ou de sites internet afin d'adapter et d'ajuster la fonctionnalité de ces systèmes informatiques et les capacités cognitives des utilisateurs. « L'enregistrement des mouvements oculaires est une technique expérimentale utilisé aujourd'hui pour fournir des indications quant à l'utilisabilité des interfaces⁶⁷. »

Diverses études ont été effectuées sur des sites web. Elles consistent à savoir ce que l'utilisateur regarde en priorité sur un site et quelles sont les stratégies qu'il développe pour naviguer sur le web. Il en ressort que la stratégie de lecture, dirigée par la recherche du contenu, expliquerait le survol rapide de pages web et non pas dû seulement à ses caractéristiques visuelles. Ces études concluent également que la forme et la mise en page d'un document jouent un rôle dans le repérage d'informations.

⁶² K. Rayner, « Eye movements in reading and information processing: 20 years of research », in *Psychol Bull*, n°124, 1998, pp. 372-422.

⁶³ P.R. Chapman et G. Underwood, « Visual search of dynamic scenes: Event types and role of experience in viewing situations », in *Eye guidance in reading and scene perception*, Oxford, England UK: Anonima Romana, Editions G. Underwood & al., 1998, pp.369-393.

⁶⁴ E. Svensson, M. Angelborg-Thanderz, L. Sjöberg et S. Olsson, « Information complexity: Mental workload and performance in combat aircraft », *Ergonomics*, n°40, 1997, pp.362-380.

⁶⁵ J.C. Sperandio et F. Bouju, « L'exploration visuelle de données numériques présentées sur écran cathodique », *Le Travail Humain*, n°46, 1983, pp. 50-63.

⁶⁶ G.L. Lohse, « Consumer eye movement patterns on yellow pages advertising », *Journal of Advertising*, n°26, 1997, pp.61-73.

⁶⁷ Thierry Baccino et Teresa Colombi, op.cit., p.4.

Smith et Mc Combs⁶⁸ ont montré que l'insertion de lignes vides entre des paragraphes en autorisant le regroupement de blocs de textes conduisait à une lecture plus rapide. Il apparaît de même que la direction du regard dépend de la signification des éléments regardés, l'objectif à atteindre, le point de vue de l'utilisateur et les connaissances préalables⁶⁹.

Ainsi, l'oculographie cognitive, technique expérimentale, « permet de pister en temps réel la qualité de la prise d'information, les déplacements attentionnels, les difficultés et les stratégies cognitives de l'utilisateur. » L'avantage essentiel de l'évaluation par des techniques expérimentales est de disposer de mesures objectives qui permettent une interprétation fiable des processus cognitifs sous-jacents à un comportement de l'utilisateur⁷⁰.

Section 2 - Quelques travaux récents sur la perception cognitive et sur l'oculométrie

Depuis une vingtaine d'années, la technique d'enregistrement des mouvements oculaires a été utilisée pour étudier les traitements cognitifs. Ainsi dans cette perspective, on suppose qu'à partir de l'étude des comportements oculaires, « on peut inférer les traitements cognitifs sous-jacents lors de diverses tâches de traitements de l'information, telles que la lecture, la recherche visuelle, la perception de scène »⁷¹.

Yarbus (1967), a mis en évidence le rapport qui existe entre le cognitif et l'oculomoteur. Les données issues de ses travaux ont permis de mettre en évidence que les trajectoires oculaires se modifient lors de l'inspection d'une scène visuelle en fonction des questions posées aux participants. Ces questions focalisent l'attention sur des zones précises du tableau à étudier (présenté figure 3). Il montre que la schématisation de trajectoires oculaires varie en fonction des déplacements attentionnels lorsque l'observateur est libre d'examiner l'image (1), lorsque l'on focalise son attention sur le statut social de la famille (2), l'âge des participants (3), sur les activités de la famille avant l'arrivée du visiteur (4), de se souvenir des vêtements des personnes (5), de se souvenir de la position des personnes et des objets dans la pièce (6) ou d'estimer depuis quand la famille n'a pas vu le visiteur (7), (les trajectoires visuelles sont présentées sur la figure).

⁶⁸ S.L. Smith et M.E. McCombs, « The graphics of prose », *Journalism Quarterly*, n°48, 1971, pp.134-136.

⁶⁹ P. Viviani, 1990, pp. 353-393.

⁷⁰ A. Bisseret, S. Sebillotte et P. Falzon, *Techniques pratiques pour l'étude des activités expertes*, Toulouse, Octarès, 1999.

⁷¹ Emmanuel Schneider, Thèse de Doctorat, *op.cit.*, p.76.

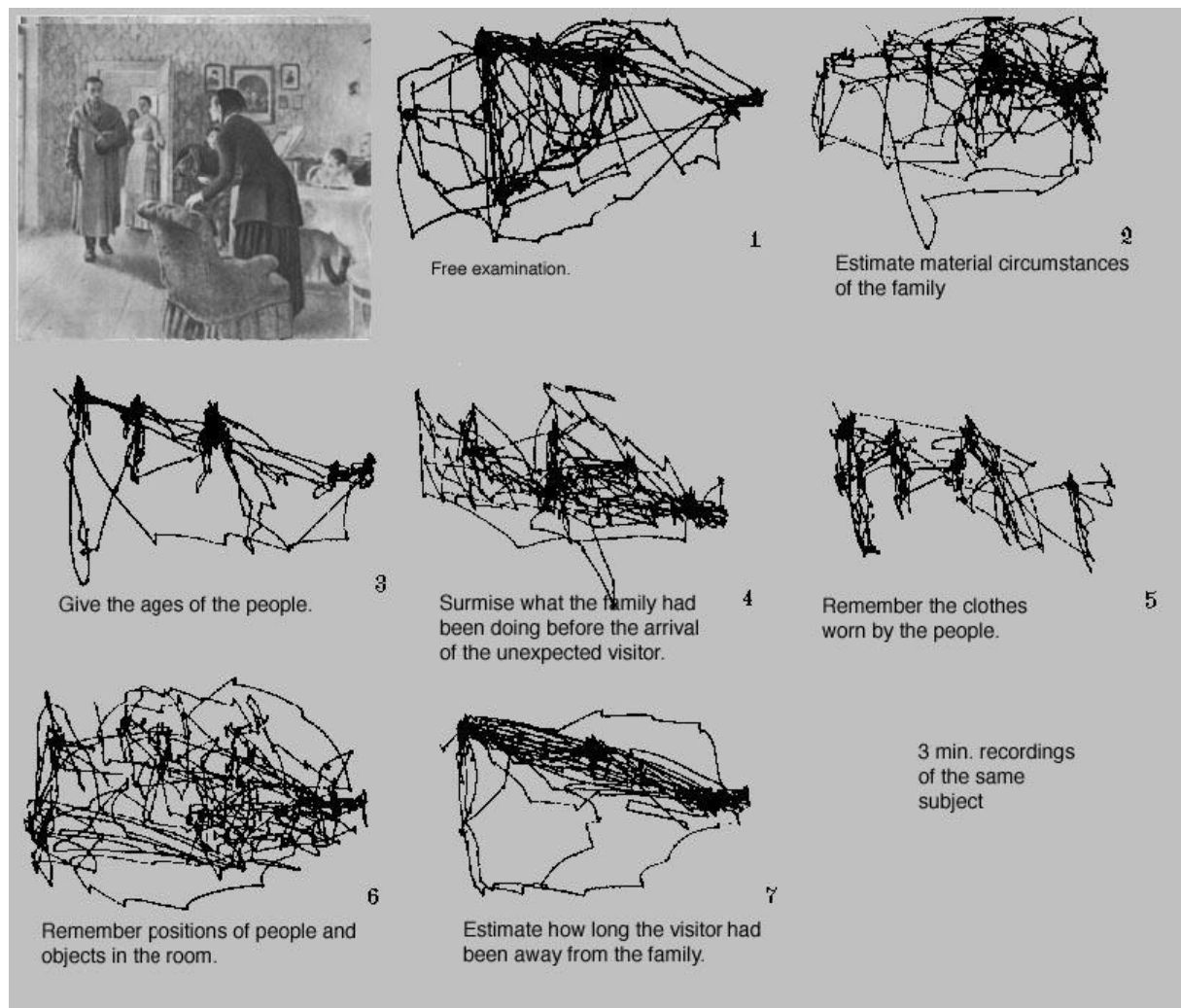


Figure 3 : Schématisation de trajectoires oculaires en fonction des questions posées aux participants

Les auteurs Noam Tractinsky, Avivit Cokhavi, Moti Kirschenbaum et Tal Sharfi, dans un rapport intitulé « Evaluating the consistency of immediate aesthetic perceptions of web pages », ont montré que les impressions sur l'esthétique des sites web sont formées après une courte visualisation du site et que de telles impressions ne sont pas fugaces. Ils ont considérés dans leur recherche que les préférences esthétiques des utilisateurs jouaient un rôle dans l'évaluation des pages web. Ce rapport s'intéressait à montrer que l'esthétique visuelle jouait un rôle important dans l'évaluation, par les utilisateurs, des pages web et des systèmes interactifs en général. Ils ont cherché à analyser comment le design influait sur l'attraction. Ils se sont également penchés sur le fait que les perceptions esthétiques des pages web influencent les jugements de ces dernières. Une expérience a été menée sur 24 pages web. Ils ont montré la forte relation entre les premières impressions immédiates, la très brève attraction et deux dimensions esthétiques des pages web : « classical aesthetics » et « expressive aesthetics » (l'esthétique classique se réfère à l'ordre, la familiarité et la clarté du design et l'esthétique expressive se réfère à la nouveauté, l'originalité, la créativité et la richesse du design). Les résultats indiquaient que les impressions immédiates positives étaient associées à un haut niveau d'esthétique. Les pages web les moins attractives étaient associées principalement à un bas niveau de « expressive aesthetics ».

Dans sa thèse⁷², K.Serrhini démontre le fort pouvoir attractif du texte par rapport à l'image d'une carte, lors de ses expériences. Il émet l'hypothèse quasi-certaine que ce pouvoir attractif proviendrait de la culture et de l'éducation du sujet.

Le texte en grande police apparaît également comme l'élément le plus attractif par rapport à celui de petite taille. De même, les contrastes forts (voire extrêmes : combinaisons du noir avec du blanc, du rouge avec du bleu), les teintes chaudes (le rouge) par rapport aux teintes froides ou encore la position de la carte en tête du document par rapport au bas (particulièrement quand le temps de lecture est limité) attirent et retiennent l'attention du lecteur plus facilement.

Ce pouvoir attractif dépendrait aussi de la position relative des différents éléments constitutifs de la carte. Les présentations en vue 3D sembleraient de même stimuler la curiosité visuelle du lecteur.

Une étude nationale danoise⁷³ effectuée sur 21 sujets visait à étudier la relation entre la complexité perçue des cartes et le comportement cognitif (mouvement des yeux). L'objectif était de voir s'il était possible de créer une méthode pour évaluer la qualité d'une communication basée sur les cartes.

Un avant projet de RISKATCH, le projet ESPON 3.4.3 avait réalisé des tests de la perception visuelle et cognitive sur six sujets (3 initiés à la cartographie et 3 non-initiés). Il s'agissait d'enregistrer pendant dix secondes les mouvements oculaires de ces six personnes lors de la visualisation de 12 cartes sur le GDP/inh (Gross Domestic Product) avec des divisions territoriales différentes (NUTS 2, NUTS 3,...). L'objectif était d'évaluer si le message délivré par les cartes était perçu correctement par les lecteurs. Après analyse, les résultats obtenus étaient divergents selon les différentes divisions territoriales. Mais il en ressort tout de même que les zones des cartes les plus regardées étaient le centre, caractérisé par la présence d'éléments identifiables et par des couleurs attractives telles que le orange et le rouge, et le coin où se situaient le titre et la légende. Il a également été mis en évidence que les initiés à la cartographie exploraient un plus grand nombre de zones de la carte que les non-initiés.

Section 3 - Les mouvements oculaires à l'origine des stratégies visuelles

A- Existence de stratégies de lecture

Les différents travaux réalisés depuis ces dernières années, ont pu mettre en évidence un certains nombre de stratégies de lecture des documents en particulier lors de la lecture des textes et des pages web. Nous allons nous pencher sur les grandes caractéristiques de ces lectures différenciées.

La lecture d'un document résulte de stratégies exploratoires de certaines zones d'intérêt⁷⁴. On distingue : la lecture complète (de type lettres, articles, romans, etc.), le survol

⁷² Kamal Serrhini, Thèse de doctorat, *op.cit.*

⁷³ Lars Brodersen, Hans H.K. Andersen et Steen Weber, *op.cit.*, p. 19.

⁷⁴ Jean Caelen, Véronique Eglin, Solange Hollard et Brigitte Meillon, *op.cit.*, p.2.

(correspondant à la lecture dite familièrement en diagonale des journaux, des magazines, des catalogues, etc.) et enfin l'inspection ciblée d'une région particulière en vue d'une recherche d'information (vérification dans un dictionnaire, encyclopédie, manuel, guide, etc.). Le processus de recherche d'information nécessite donc la connaissance de plusieurs facteurs : le type de document traité (document technique, scientifique, publicitaire, manuscrit, etc.), les styles de mise en page et l'organisation logique des entités présentées.

Les travaux portant sur la lecture d'image ont mis en évidence trois types de parcours oculaire que l'on retrouve dans le cas des sites Web :

Le premier type de schéma de lecture est le balayage en « Z ». Le lecteur lit le document suivant un parcours en Z, quitte à revenir, par la suite, à un point perçu comme éventuellement intéressant. Ce modèle s'explique, chez les occidentaux, par un facteur culturel : l'écriture se déroule de gauche à droite et de haut en bas⁷⁵. Cette théorie conduit à accepter que, pour d'autres langues, l'habitude d'écriture et de lecture influence l'enchaînement des saccades.

Le second schéma de lecture est appelé balayage « hiérarchique ». Ce modèle se base sur l'hypothèse que les lecteurs construisent leurs représentations à partir de composantes de trois types : vivantes, mouvantes et stables rattachées aux catégories, êtres vivants, objets inanimés mobiles et objets inanimés statiques. Lors de la lecture d'une image fixe, l'ordre de balayage est prédéterminé par la hiérarchie de ces trois composantes. Le lecteur fixe en premier les êtres humains ou animaux, puis les objets capables de mouvement (voitures, eau, nuages, etc.), et enfin les objets restant statiques (maison, montagne, etc.).

Enfin le balayage en « spirale » est un schéma de lecture où le lecteur, partant du coin supérieur gauche, parcourt l'image selon un balayage en spirale, tout en se rapprochant de son centre. Initialement proche des bords, le rayon de la trajectoire diminue au fil des tours jusqu'à ce que toute la surface ait été parcourue. Lors d'enregistrements de parcours du regard, ce modèle est plus rarement observé, hormis lorsque l'image affichée présente des champs circulaires. L'attrait de ce modèle réside dans le rapprochement que l'on peut opérer avec les raisonnements de l'esprit humain : la déduction qui va du général au particulier, du principe à la conséquence, s'opposant à l'induction qui va du particulier au général, des faits aux lois. Dans ce cadre, le lecteur recherche initialement une compréhension globale de la scène avant d'en déterminer les différentes parties.

En est-il de même pour la lecture des cartes ? Peut-on classer les lectures de la sorte ? Peut-on parler de lecture en Z pour les cartes ou de lecture hiérarchique en tenant compte cette fois-ci des éléments tels que la légende, le titre, la carte proprement dite... ?

B- Les mouvements oculaires responsables des stratégies de lecture

Il apparaît important de comprendre que les divers types de mouvements oculaires sont à la base des stratégies visuelles. Par la suite, dans la Partie II expérimentale de notre recherche, nous allons être amenés à identifier les stratégies visuelles des sujets lors de la lecture de cartes. Pour cela, préalablement l'étude passera par une analyse la plus fine possible des différents types de mouvements oculaires. La définition des notions propres aux

⁷⁵ Dans sa thèse, K. Serrhini parle « d'effet culturel » lors de la lecture des textes latins, p.231.

mouvements oculaires ainsi que le fonctionnement des mouvements des yeux semblent incontournables.

Les spécialistes distinguent trois catégories de mouvements oculaires : les saccades, les poursuites et les fixations.

Les saccades sont des mouvements volontaires, automatiques ou réflexes⁷⁶. Une saccade est un mouvement oculaire rapide. Sa vitesse, variable, est fonction de son amplitude. La saccade peut être déclenchée par la vision floue d'un objet (c'est-à-dire l'apparition d'un stimulus rétinien périphérique) ou par un stimulus auditif. Selon son sens, une saccade peut-être droite, gauche ou verticale.

La poursuite, quant à elle, est un mouvement oculaire plutôt lent. Ce mouvement est déclenché par l'observation d'une cible (ou stimulus) mobile saisie donc en vision centrale (vision des détails).

Les fixations sont caractérisées par un regard qui reste « fixe » durant un intervalle de temps compris entre 100 et 1000 millisecondes (Baccino, 2004, Goldberg, Stimson, Lewenstein, Scott & Wichansky, 2002, Rayner, 1998) sur une surface inférieure ou égale à 12 x 12 mm. Il reste à noter que durant la fixation d'un stimulus immobile, l'œil ne l'est pas en réalité : on peut enregistrer des micros saccades et des micros tremblements de l'œil.⁷⁷

« Le mouvement des yeux lors d'une tâche de lecture, lors de l'exploration d'une scène, ou encore de la recherche d'un objet, se compose d'un enchaînement de saccades »⁷⁸. Ces saccades sont entrecoupées de fixations. L'amplitude, la durée des saccades ainsi que la durée des fixations sont dépendantes des particularités des tâches que le sujet effectue. Ainsi la durée de fixation moyenne lors d'une tâche de lecture silencieuse⁷⁹ est de 225 millisecondes alors qu'elle est de 275 millisecondes pour une recherche visuelle et de 300 à 330 millisecondes pour la perception d'une scène visuelle (Loftus & Mackworth, 1978, Rayner, 1998).

« Tout le monde s'accorde à penser que les traitements intégratifs ont lieu durant les fixations alors que les saccades sont employées pour la recherche d'informations. En effet, de nombreuses études suggèrent que les activités de traitement cognitif sont suspendues pendant les saccades. Cependant, ce postulat est sujet à controverse car les études ayant permis de l'élaborer utilisaient uniquement des tâches très simples (Rayner, 1998). »⁸⁰

Les séquences ordonnées de fixations et de saccades définissent la notion de scanpath (Baccino, 2004, Goldberg, Stimson, Lewenstein, Scott & Wichansky, 2002). Ce scanpath se révèle important pour déterminer comment le sujet explore et recherche les informations à l'intérieur d'un document.

Les principaux indicateurs comportementaux, extraits d'un enregistrement des mouvements des yeux, qui vont permettre de déterminer la stratégie visuelle du lecteur, concernent les dimensions spatiale et temporelle du parcours oculaire. L'analyse du parcours oculaire d'un document permet de repérer les zones du document les plus explorées, les durées de traitements de ces zones, les difficultés rencontrées, les éventuelles réinspections et la séquence de fixations successives (Baccino, 2004).

⁷⁶ P. Larmande et A. Larmande, *Neuro-ophtalmologie*, Paris : Masson, Collection Abrégés de médecine, 1989, pp. 142-143.

⁷⁷ *Ibid.*, p.136.

⁷⁸ Emmanuel Schneider, Thèse de Doctorat, *op.cit.*, p.69.

⁷⁹ *Ibid.*, p.70.

⁸⁰ *Ibid.*, p.70.

Goldberg & Schryver (1995) ont identifié plusieurs indicateurs oculaires pour évaluer l'*utilisabilité* des documents électroniques. Ces auteurs ont dégagé deux types d'indicateurs, ceux qui rendent compte des processus de recherche d'informations et ceux qui rendent compte du traitement de l'information, comme le montre le tableau 1 ci-dessous.

Processus cognitif	Mesures oculaires	Unités de mesures
Recherche d'informations	Nombre de saccades	N
	Taille moyenne des saccades	Pixels
	Longueur du scanpath	Pixels
	Durée du scanpath	Millisecondes
	Densité de transition	%
	Aire convexe de Hull	Pixels ²
	Densité spatiale	%
Traitement de l'information	Durée des fixations	Millisecondes
	Nombre de fixations	N

Tableau 1 : Liste des indicateurs oculaires établie par Goldberg & Schryver (1995).

Puis en 1999, Goldberg & Kotval ont proposé une catégorisation de ces indicateurs en fonction de deux dimensions : temporelle et spatiale. Les mesures temporelles décrivent la séquentialité, la nature de la base temps d'un scanpath, alors que les mesures spatiales s'appuient sur la propagation et la couverture d'un scanpath.

Partie II - Perception cognitive de la cartographie des risques d'inondation

Chapitre 1: Contexte du travail de recherche

Le protocole expérimental de ce travail vise à apporter des réponses aux questions suivantes grâce à l'approche de la Sémiologie Graphique Expérimentale et de l'oculométrie cognitive :

- Quelles sont les variables qui conditionnent l'efficacité d'une carte ?
- Sans avoir de connaissances particulières en Sémiologie Graphique classique ou sur le risque d'inondation, l'utilisateur de ces cartes peut-il sans trop de difficultés s'approprier le message rendu par ces cartes ?

Pour parvenir aux objectifs fixés, une approche⁸¹ de la perception visuelle a été mise en œuvre dans le domaine de la cartographie. Cette dernière est basée sur l'étude de l'enregistrement des mouvements oculaires (stratégies visuelles) déployés par des sujets face à différentes cartographies du risque d'inondation (diapositives). Il s'agit d'étudier les stratégies du regard et de lecture des cartes en visualisant le parcours oculaire en superposition avec l'image de test, ici des cartes du risque d'inondation, et de détecter et quantifier les fixations et les saccades. Les analyses quantitatives permettent de recueillir le nombre et durée des fixations, et le nombre de saccades et de rétro saccades.

Notre recherche expérimentale peut être subdivisée en trois étapes⁸² : l'élaboration des cartes et du protocole expérimental, la réalisation de l'approche SGE proprement dite, et l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus et les recommandations.

Section 1 - Les étapes de la recherche

A-Étape n°1 : élaboration des cartes et du protocole expérimental

En amont de la réalisation des tests sur les stratégies visuelles des sujets, des échanges entre les différents partenaires ont permis l'élaboration de cartes de référence en faisant varier différents éléments de sémiologie graphique. Ces cartes soumises aux personnes testées ont fait l'objet d'échanges entre les partenaires allemands, autrichiens et français (schéma 3 ci-dessous). Ces échanges ont permis d'effectuer une première série de modifications sur les cartes dont l'objectif était d'élaborer et de diversifier les variables testées.

⁸¹ K. Serrhini, « Sémiologie graphique expérimentale : cas des cartes de l'impact visuel d'un aménagement », in 5^e rencontres de Théo Quant, Actes de Besançon sur CD-ROM, 22 et 23 février 2001.

⁸² Rapport ERA-Net CRUE, *op.cit.*, p.8.

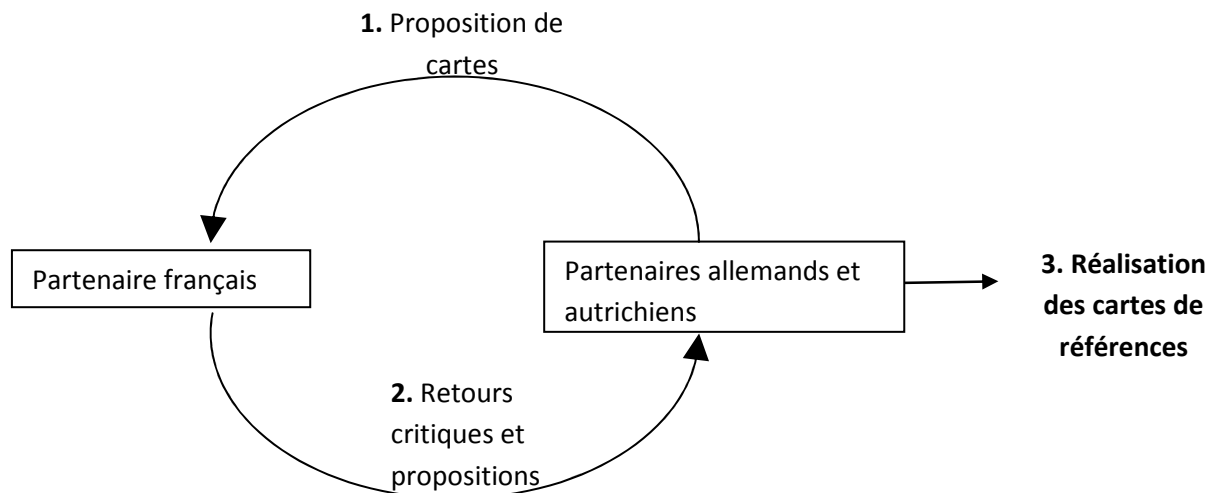


Schéma 3 : Processus de sélection et d'élaboration des cartes test

Des exemples de cartes significatives, en termes d'information du public et de gestion du risque d'inondation ont été considérés. La réalisation de logigrammes a permis par la suite de visualiser le nombre de cartes dont la conception pouvait être différente et de sélectionner les cartes faisant intervenir certains paramètres.

Les partenaires allemands et autrichiens ont alors réalisé une première proposition de cartes devant servir de support aux tests oculaires. Le partenaire français a fait des propositions de modification. Ces échanges sont à l'origine du choix des variables qui ont été testées (position du titre et de la légende, niveau de détail de la légende, fond de carte...). Enfin cette concertation entre les trois pays partenaires, a abouti à l'élaboration des 17 cartes ayant servi de référence pour les tests oculaires et l'enquête dite cognitive.

La conception d'un formulaire d'enquête cognitive (ayant pour objectif de préciser les résultats des enregistrements oculaires) et la recherche des différents candidats ont également fait partie de cette étape préliminaire.

B-Etape n°2 : réalisation de l'approche SGE proprement dite

Il s'est agit d'enregistrer les mouvements oculaires des différents candidats et de leur soumettre aux moments voulus le questionnaire (enquête cognitive).

Il s'agissait également de réaliser l'extraction des données (iconiques et statistiques) ainsi que la saisie des données chiffrées.

C-Etape n°3 : analyse, interprétation des résultats obtenus et recommandations

L'étape n°3 consiste à analyser et interpréter les résultats issus des traitements statistiques (calcul des moyennes par carte et par groupe de candidats), des résultats de l'enregistrement des mouvements oculaires (statistiques, spatiaux et dynamique) et de l'enquête cognitive. Des recommandations seront faites dans le but d'améliorer la conception

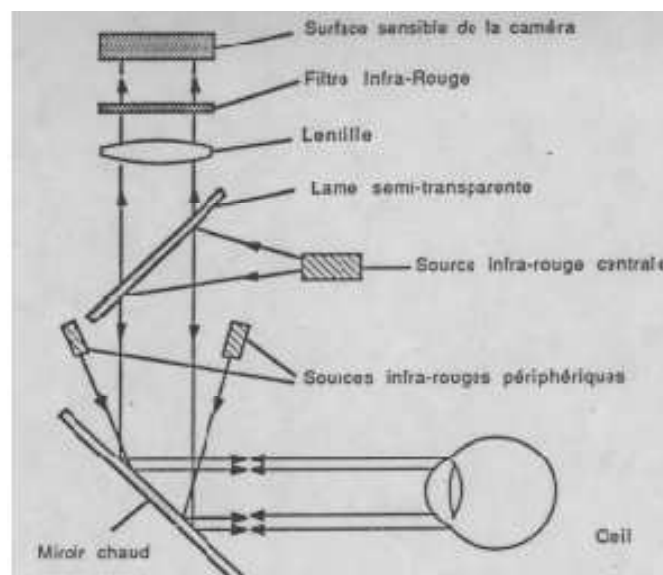
de la cartographie. Un rapport final a été également élaboré pour le projet conjoint RISKATCH.

Le protocole expérimental de notre étude est donc basé sur la combinaison de deux approches complémentaires, d'une part, les enregistrements des mouvements oculaires des sujets testés à l'aide d'un video-oculographe et d'autre part, l'analyse des réponses à un questionnaire semi-directif accompagnant les enregistrements du suiveur de regard.

Section 2 - Protocole expérimental

A-Matériel utilisé

Il existe différents types de matériel d'enregistrement des mouvements oculaires. Bien qu'il existe plusieurs techniques⁸³ d'enregistrement des mouvements oculaires, nous détaillerons uniquement celle qui nous intéresse et que nous avons utilisée lors des expériences de ce mémoire de recherche, le video-oculographe⁸⁴. Cet appareil utilise le principe de Hirschberg (position du reflet cornéen par rapport au centre de la pupille) pour mesurer la direction du regard indépendamment des mouvements de tête⁸⁵. C'est la technique de suivi des parcours oculaires appelée « Eye-tracking » et dite du « reflet cornéen ». Le principe consiste à illuminer le centre de la pupille à l'aide de lumière infrarouge. Le reflet de la pupille est détecté par une caméra vidéo qui filme l'œil. A partir des variations d'intensité de ce reflet sur la cornée de l'œil, un traitement informatique permet de repérer le centre de la pupille et ainsi de connaître la position de l'œil calibré à intervalles réguliers (Baccino, 2004). La tête reste libre et permet tout de même d'obtenir une précision temporelle (50..250 Hz) et spatiale (1°/arc)⁸⁶(pour plus de précisions, se référer à l'annexe n°5).



source : C. Buquet

Figure 4 : Montage du video-oculographe

⁸³ Emmanuel Schneider, Thèse de Doctorat, *op.cit.*, p.66.

⁸⁴ www.metrovision.fr

⁸⁵ www.metrovision.fr

⁸⁶ http://www.unice.fr/LPEQ/pagesperso/thierry/Publications/Oculometrie%20Cognitive_files/frame.htm

Le video-oculographe permet de « repérer en temps réel la position du regard au moyen (...) d'une caméra vidéo » qui est calé « sur le reflet émis par un rayon infra-rouge envoyé sur la cornée oculaire. Ce dispositif couplé à un système informatique échantillonne régulièrement la position spatiale de l'œil (...). La quantité considérable de données enregistrées est ensuite réduite pour ne retenir que les pauses de l'œil (fixations) qui témoignent des traitements cognitifs et les sauts d'une fixation à l'autre (saccades) davantage sous le contrôle de la perception et des mécanismes oculomoteurs. Les fixations et les saccades représentent les éléments fondamentaux de l'étude oculométrique à partir desquels sont calculées plusieurs mesures spatiales et temporelles du déplacement du regard: les mesures spatiales sont des distances saccadiques, des localisations ou le tracé des zones inspectées par le regard (*scanpath*), les mesures temporelles concernent les durées des fixations globales ou locales (i.e, limitées à une information précise). »⁸⁷

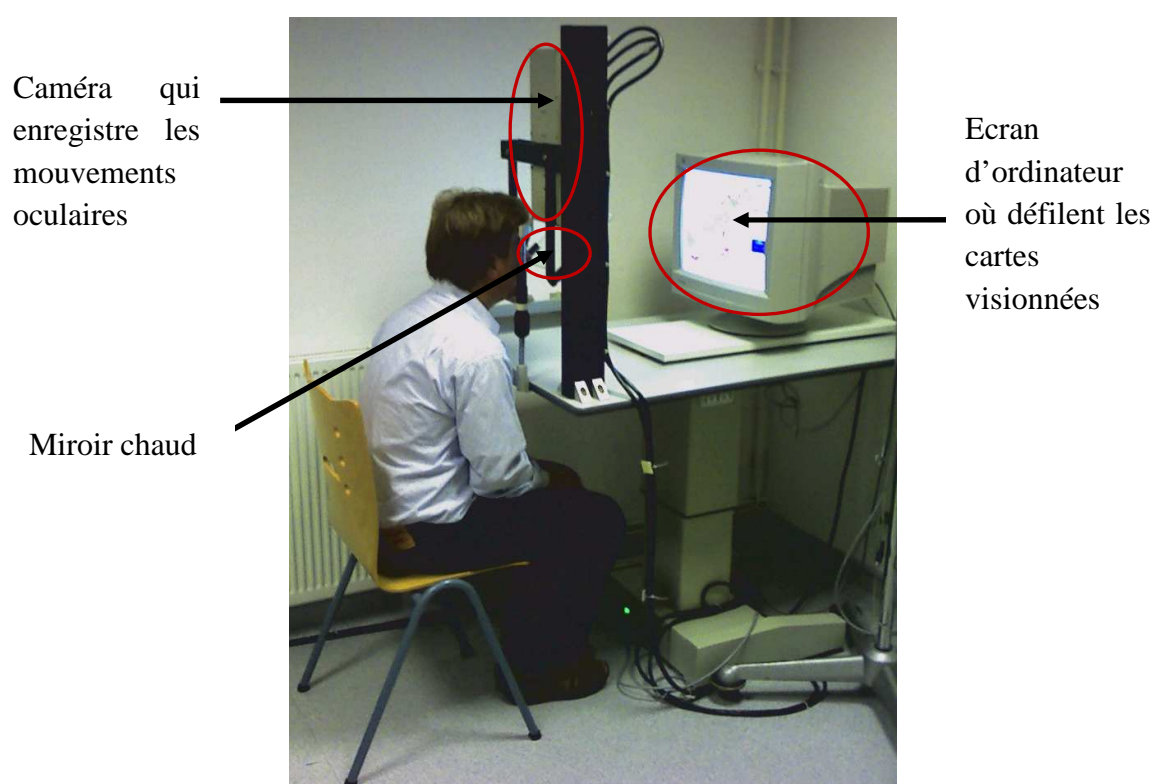


Figure 5 : Video-oculographe du CHU de Tours

B- Sujets testés

Vingt et un sujets ont participé à l'expérience (voir le tableau en annexe n°8) dont 6 autrichiens, 8 allemands et 7 français. Parmi ce groupe d'individus hétérogènes, on compte 11 femmes et 10 hommes. Rappelons que les précédentes recherches relatives à la Sémiologie Graphique Expérimentale n'ont jamais dépassé 15 sujets. Les sujets sont âgés entre 20 et 60 ans. Le nombre plus important de participants aux tests va rendre plus complexe le processus de recueil de données et d'analyse par la suite.

⁸⁷ T. Baccino, « Oculométrie Cognitive », in *Dictionnaire des Sciences Cognitives*, Paris, Armand Colin, 2002, pp. 100-101.

Compte tenu qu'il s'agit d'une association de trois partenaires européens, et non pour une raison d'échantillon, il était important d'équilibrer le nombre de candidats de chaque pays. A l'origine, il était même prévu que les tests soient réalisés sur 30 sujets (10 allemands, 10 autrichiens et 10 français), mais pour des raisons d'ordre organisationnelles et logistiques, seuls 21 candidats ont finalement pu participer à l'étude.

Cependant, de part le nombre de personnes testées, cet échantillon reste encore peu représentatif de la France ou de l'Europe. Mais, il s'agit d'une recherche toute récente et exploratrice.

Le photo-oculographe, n'est disponible qu'au CHU de Tours pour des pathologies oculaires. Tous les enregistrements des stratégies visuelles ont pour cette raison été effectués au CHU, ce qui impliquait le déplacement des candidats et avait de lourdes répercussions en matière de coût et d'organisation.

Afin de ne pas altérer l'enregistrement du reflet de la cornée, il était fortement recommandé que les sujets ne portent pas de lunette le jour du test, à cause des reflets qui altèrent l'enregistrement du reflet cornéen.

C-Les cartes utilisées

Deux catégories de cartes du risque d'inondation sont présentées aux sujets, une catégorie de cartes Autrichiennes et une de cartes Allemandes. Elles correspondent aux trois sites d'études retenus par les partenaires allemands et autrichiens dans le projet conjoint de recherche RISKATCH, soit respectivement le site de « Eintrittswahrscheinlichkeit », situé dans le bassin « Inn » à 10 km Ouest d'Innsbruck en Allemagne et les sites de « Wartschenbach » dans le bassin « Drau », situé au Tyrol Est de l'Autriche et « Vordergerbach » en Autriche.

Ces cartes sont également classées en séries. Ainsi, parmi les cartes autrichiennes, nous identifions trois séries en fonction de l'information fournie :

- Série 1 : composée de 2 cartes (les cartes 1 et 2) traitant du risque d'inondation sur des enjeux localisés (catégories de bâtiments).
- Série 2 : composée de 4 cartes (les cartes 3, 4, 5 et 6) présentant les dommages totaux subits au cours d'une période longue.
- Série 3 : composée de 4 cartes (les cartes 7, 8, 9 et 10) présentant les dommages encourus par an.

Les cartes allemandes, elles, se divisent en deux séries :

- Série 1 : La première concernant 2 cartes (cartes 11 et 12) et présentant les zones du site d'étude concernée par le risque d'inondation et leur degré d'exposition.
- Série 2 : La seconde composée de 5 cartes (cartes 13 ; 14 ; 15 ; 16 et 17) présentant, le nombre de personnes potentiellement menacées par le risque d'inondation.

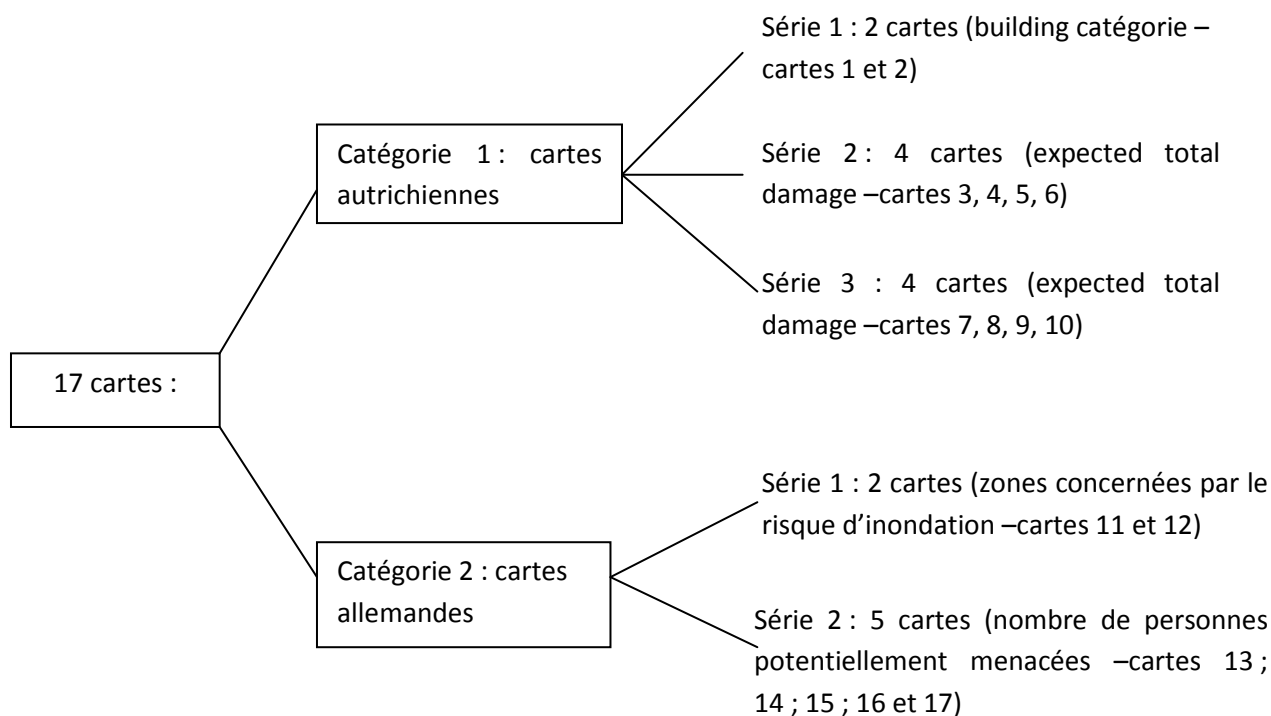


Schéma 4 : Organigramme des cartes testées

Au total, 17 cartes sont présentées de différentes catégories : risque sur les différentes catégories de bâtiments, dégâts annuels attendus avec ortho photo plan ou non, dégâts total attendus avec ortho photo plan ou non, personnes potentiellement affectées par le risque d'inondation. Ces cartes ont été retenues dans le but d'étudier les variables visuelles et les différentes composantes de l'image que sont :

- La position du titre (en haut ou en bas)
- La position de la légende (à droite ou à gauche)
- La nature de l'arrière plan de la carte
- La composition de la légende (détaillée ou simplifiée)
- La complexité de la discrétisation (nombre de classe)
- Les variables visuelles couleur (utilisation du vert ou du rouge) et valeur (l'utilisation d'un dégradé d'une seule couleur ou du multi coloris).

Les variations réalisées d'une carte et/ou d'une catégorie de carte à l'autre sont présentées dans les tableaux suivants.

Catégorie 1 : CARTES AUTRICHIENNES

Catégorie de carte	n° Carte	Variables testées			
Building category		Site de référence	Fond	Échelle	Légende
	1	Wartschenbach	Cadastre	1/2500	Droite
	2	Vorderbergerbach	Cadastre	1/5000	Gauche

Tableau 2 : Série 1. Building catégorie

Catégorie de carte	n° carte	Variables testées					
Expected total damage		Site de référence	Fond	Échelle	Légende	Nb de classe	Couleur
	3	Wartschenbach	Cadastrés	1/2500	droite	7	vert
	4	Vorderbergerbach	Cadastré	1/5000	gauche	5	vert
	5	Wartschenbach	Orthophoto (IR)	1/2500	droite	7	vert
	6	Vorderbergerbach	Photo aérienne	1/5000	gauche	5	rouge

Tableau 3 : Série 2. Dommages totaux

Catégorie de carte	n° Carte	Variables testées					
Expected annual damage		Site de référence	Fond	Échelle	Légende	Nb de classe	Couleur
	7	Wartschenbach	Cadastré	1/2500	droite	5	rouge
	8	Vorderbergerbach	Cadastré	1/5000	gauche	7	vert
	9	Wartschenbach	Orthophoto (IR)	1/2500	droite	5	vert
	10	Vorderbergerbach	Photo aérienne	1/5000	gauche	7	vert

Tableau 4 : Série 3. Dommages annuels

Catégorie 2 : CARTES ALLEMANDES

Catégorie de carte	n° Carte	Variables testées				
Risque par zone		Site de référence	Titre	Nb de classe	Valeur	Niveau détail légende
	11	Eintrittswahrscheinlichkeit	bas	7	plusieurs couleurs	11 typ info
	12	Eintrittswahrscheinlichkeit	bas	6	plusieurs couleurs	11 typ info

Tableau 5 : Série 1. Zones touchées par le risque d'inondation

Catégorie de carte	n° Carte	Variables testées					
Personnes menacées		Site de référence	Titre	Nb de classe	Valeur	« Complexité » légende	Précision de l'info
	13	Eintrittswahrscheinlichkeit	bas	4	dégradé 1 couleur	11 types d'informations	1 info
	14	Eintrittswahrscheinlichkeit	bas	4	plusieurs couleurs	11 types d'informations	2 info
	15	Eintrittswahrscheinlichkeit	bas	4	dégradé 1 couleur	6 types d'informations	1 info
	16	Eintrittswahrscheinlichkeit	bas	5	dégradé 1 couleur	5 types d'informations	2 info
	17	Eintrittswahrscheinlichkeit	haut	6	dégradé 1 couleur	5 types d'informations	2 info

Tableau 6 : Série 2. Personnes touchées par le risque

Cet échantillon de cartes permettra ou non de déterminer des agents marquants qui influent sur les stratégies visuelles et de peut-être généraliser et extrapoler des résultats et des conclusions fortes.

Jusqu'à présent ce type d'expérience n'excédait pas 10 secondes par carte. Le choix d'une période d'exposition courte était justifié par la volonté de tester l'identification d'éléments, de symboles... qui attirent le regard durant les premiers instants lors de la lecture d'image et pour une meilleure exploration de l'intérêt de cette approche. (Rapport ESPON) La nouveauté est ici de faire visionner chaque carte 15 secondes. Cette durée engendre pas conséquent plus de données recueillies et par conséquent une plus grande difficulté d'analyse mais un temps de visionnage plus long permettant de conforter ou d'apporter de nouveaux éléments à des conclusions déjà émises lors du rapport Applying eye-movement tracking for study of map perception and map design ou encore the report of ESPON 3.4.3 évoqués plus haut.

Enfin, malgré cette période d'exposition relativement courte, les données (les enregistrements et les diverses statistiques associées) générées par le système photo-oculographe sont de l'ordre de plusieurs centaines de Méga-octets.

D-L'enquête dite cognitive

Le questionnaire semi directif permet d'évaluer l'activité cognitive du sujet et de la corréler avec les enregistrements des mouvements oculaires. Cette enquête cognitive a été établie à partir de logigrammes. Elle est constituée de trois parties :

- une sur les données démographiques et l'utilisation faite des cartes,
- une sur un questionnement détaillé de cartes concernant la complexité, la densité d'informations contenues, le caractère innovant de la carte, sa valeur esthétique et sur son intérêt décisionnel, chaque niveau étant noté de 1 à 5.
- et enfin une troisième partie sur une comparaison de cartes entre elles avec des comparaisons de la position de la légende (à droite ou à gauche), la position du titre (en haut ou en bas), le niveau de discrétisation (nombre de classes utilisées), la couleur choisie pour la représentation de la variable visuelle valeur, l'échelle de la carte (1/5000 ou 1/2500) et la nature de l'arrière plan (Cadastre, Orthophoto IR et Photographie aérienne).

Dans la deuxième et troisième partie du questionnaire, il ne s'agit pas de poser des questions ouvertes mais des questions avec un choix de réponses données afin de pouvoir les analyser, les quantifier et établir des statistiques.

E- Procédure des tests

Les enregistrements étaient effectués de façon individuelle en présence d'un membre de l'équipe scientifique française. Chaque test par personne dure en moyenne une quarantaine de minutes, permettant de suivre la procédure suivante.

L'utilisation du système de poursuite de mouvements oculaires peut être divisée en quatre étapes⁸⁸ : l'installation du sujet, l'ajustement, la calibration, et l'enregistrement des données oculométriques (Nevalainen & Sajaniemi, 2004).

La phase d'installation consiste à placer le sujet en position assise devant la caméra et en face de l'écran où défilent les cartes du risque d'inondation.

Dans un premier temps, une explication brève du fonctionnement du video-oculographe, du but et du déroulement du test/étude leurs sont présentés. Puis, le procédé du test et les consignes sont données afin d'insister sur le fait qu'il s'agit d'une étude sur la perception des

⁸⁸ Emmanuel Schneider, Thèse de doctorat, op.cit., p.68.

cartes lors des premières secondes et non l'évaluation de leurs compétences et qu'il s'agit par conséquent de répondre aux questions présentées selon les premières impressions.

Chaque participant individuellement remplit dans un premier temps les premières pages sur les données démographiques et l'utilisation faite des cartes. Le questionnaire accompagnant les enregistrements, permet de recueillir des données démographiques sur les sujets ainsi que leurs expériences dans l'utilisation des cartes.

La phase d'ajustement comprend l'ajustement des différents paramètres du système pour détecter et assurer la reconnaissance de l'œil du sujet ainsi que l'ouverture d'un fichier pour l'enregistrement des données. L'appareil d'enregistrement des mouvements oculaires était fixe. Le candidat devait donc placer sa tête sur l'appareil⁸⁹ et regarder ensuite les différentes cartes projetées.

Le calibrage de l'oculographe est effectué avant tout enregistrement des mouvements oculaires, et il consiste à demander à l'utilisateur de fixer successivement 5 points apparaissant sur l'écran : un dans chaque coin de l'écran et un au centre, de manière à assurer une parfaite correspondance entre les positions enregistrées par l'oculomètre et les positions réelles des informations sur l'écran. Cette phase de calibration doit être répétée autant de fois que nécessaire pour arriver à une bonne calibration.

Pendant la phase d'enregistrement, trois types de données sont recueillies :

- Données et analyses statistiques des différentes catégories de mouvements oculaires
- Données et analyses spatiales des mouvements oculaires : quels sont les éléments qui attirent le plus le regard ?
- Données et analyses temporelles des mouvements oculaires : quelles sont les stratégies visuelles des divers sujets ?

Durant le visionnage des cartes du risque d'inondation, le sujet doit également répondre à la deuxième partie du questionnaire. L'enregistrement était ponctué de phases durant lesquelles le candidat devait remplir le questionnaire. En effet après certaines cartes, durant un temps d'arrêt, il doit répondre à des questions correspondant à la carte qu'il vient juste de visualiser auparavant.

A la fin du test, le sujet est isolé et répond à la troisième partie du questionnaire, consistant à comparer des cartes entre elles après les avoir visualiser dans un premier temps avec le video-oculographe et les rappelant à l'aide de petite image ne permettant pas de s'attarder sur les détails mais bien de faire appel à la mémoire et de donner les premières impressions.

A la suite de ces enregistrements, il s'agira dans le chapitre 2 de cette partie de :

- De déterminer quels sont les éléments d'une carte qui attirent le regard en premier ? Des éléments de réponse à la précédente question seront apportés par l'analyse des mouvements enregistrés (analyses statique et dynamique des mouvements oculaires).
- D'identifier les composants d'une carte les plus attractifs visuellement et de déterminer les parties d'une carte qui, statistiquement, mobilisent le plus de mouvements oculaires (mouvements de saccades, de poursuites et de fixations).

⁸⁹ La position fixe de la tête des candidats peut constituer un léger biais dans la localisation des premières fixations qui ont tendance à se localiser dans le centre de la carte.

- De mettre en évidence l'ordre temporel d'accès visuel aux différents éléments d'une carte. Sachant que la lecture d'un texte latin se fait de haut vers le bas et de gauche vers la droite, comment s'opère la lecture d'une image ?

Chapitre 2: Une nouvelle approche de la Sémiologie Graphique Expérimentale sur la perception des cartes du risque d'inondation

Section 1 - Exploitation des données de l'enquête dite cognitive

Nous avons vu précédemment que notre échantillon de 21 personnes est composé d'un bon équilibre de 10 hommes et 11 sujets féminins. Trois nationalités sont représentées dans notre étude parmi lesquelles Autriche (6), Allemagne (8) et France (7).

La majorité des réponses aux enquêtes et des enregistrements oculaires ont été obtenus de personnes dont le niveau d'étude est supérieur au niveau Bac+2 (71%). Parmi eux, un tiers déclarent un niveau d'étude équivalent au doctorat. Seulement 19% des personnes déclarent un niveau d'étude inférieur ou équivalent au Bac+2. Notre échantillon a donc un niveau d'étude relativement très élevé. Il s'agit ainsi de personnes, qui dans leur cursus scolaire ou universitaire, ont déjà été amené à étudier ou à lire des cartes, et cet exercice ne leurs est pas inconnu.

La répartition des professions est également relativement bien équilibrée avec 38% de « chercheur ou enseignant », 28,5% de « fonctionnaires » et 28,5% d'une catégorie « autres » avec par exemple des étudiants ou des professions médicales. Mais seule 5% de l'échantillon, ayant participé aux tests, appartient à la catégorie « élu ». Cette part faiblement représentée s'explique par le manque de disponibilité des élus ou responsables politiques, compte tenu de leurs emplois du temps.

A- L'utilisation des cartes parmi l'échantillon testé

Avant d'analyser les enregistrements oculaires des sujets pour certaines cartes du risque d'inondation et les préférences de ces derniers, il semble important d'évaluer l'importance des cartes dans l'activité professionnelle des sujets et le degré d'autonomie qu'ils ont dans l'élaboration de ce type d'outils.

Pour plus de confort et moins de surcharge des figures et tableaux qui vont vous être présentés, nous n'avons pas fait apparaître les sources. Nous faisons remarquer dès à présent que les graphiques et tableaux de ce chapitre sont de réalisation personnelle.

La figure 6 (Fréquence d'utilisation des cartes dans votre activité professionnelle) indique que les cartes ont un grand intérêt pour notre échantillon de personnes et notamment pour les élus et les chercheurs, chez qui la fréquence d'utilisation des cartes dans leur activité

professionnelle est très courante. Cependant, notre échantillon n'a pas pu réunir suffisamment de représentants de la catégorie élu, faute de disponibilité, pour pouvoir faire des généralisations sur cette catégorie d'utilisateurs. Mais ce qui est clair est qu'un peu plus de 57% des personnes de l'échantillon utilisent les cartes dans leur activité professionnelle au moins une fois par semaine et 33% les utilisent régulièrement dans la même semaine. Les fonctionnaires pour 33% d'entre eux, ce qui n'est pas négligeable utilisent également les cartes plus d'une fois par semaine. Hors mis les élus⁹⁰, la plus grande part des personnes testées qui utilisent les cartes les chercheurs sont plus souvent amenés à utiliser les cartes sachant qu'ils les produisent quand ils en ont besoin.

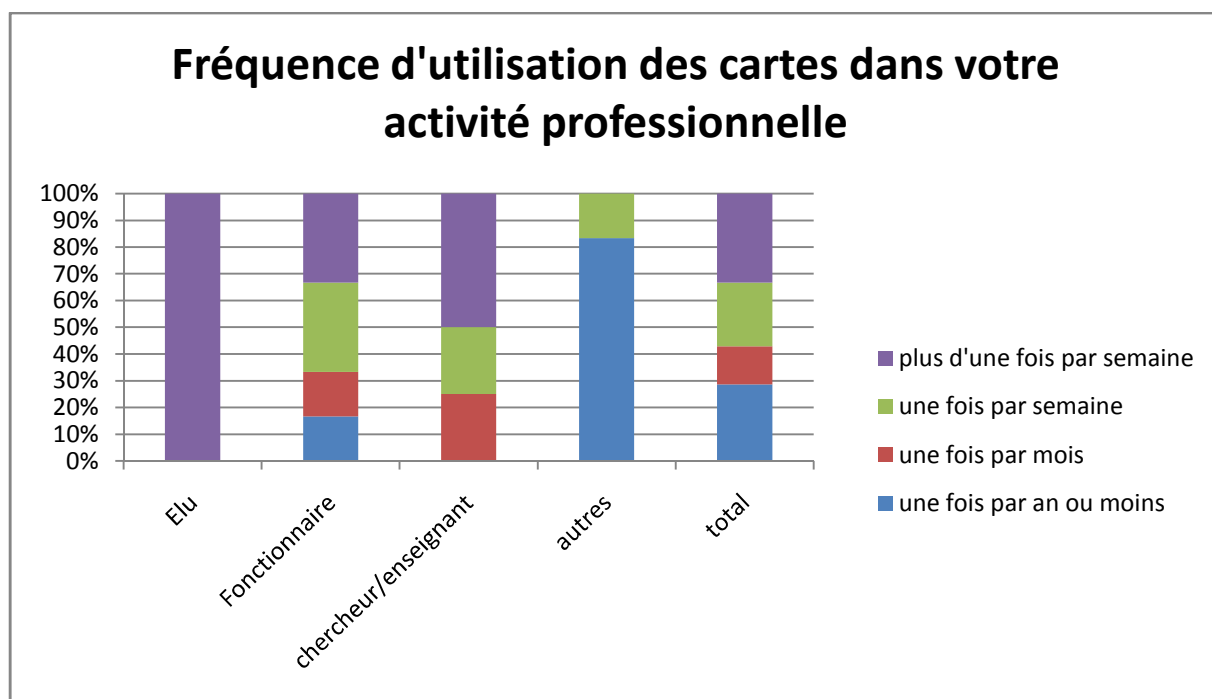


Figure 6 : Fréquence d'utilisation des cartes par les sujets testés dans leur activité professionnelle

La figure 7 montre que chercheurs/enseignants et fonctionnaires produisent les cartes dont ils ont besoin au sein de leur équipe ou service pour la moitié d'entre eux. De plus, 31% des chercheurs sont autonomes et réalisent leurs propres cartes alors qu'aucuns des fonctionnaires ou décideurs/élus ne semblent réaliser les leurs eux-mêmes. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les décideurs politiques et les fonctionnaires ont moins de contrôle sur la conception et la production des cartes en amont de leur utilisation (ou les décideurs ont donc moins de contrôle...). Les fonctionnaires admettent faire appel des sources externes pour 50% d'entre eux, alors que ce n'est le cas que de 19% des chercheurs/enseignants.

⁹⁰ L'échantillon d'élus n'est pas assez important pour pouvoir généraliser leurs propos ou pour conclure réellement sur l'utilisation qu'ils en ont.

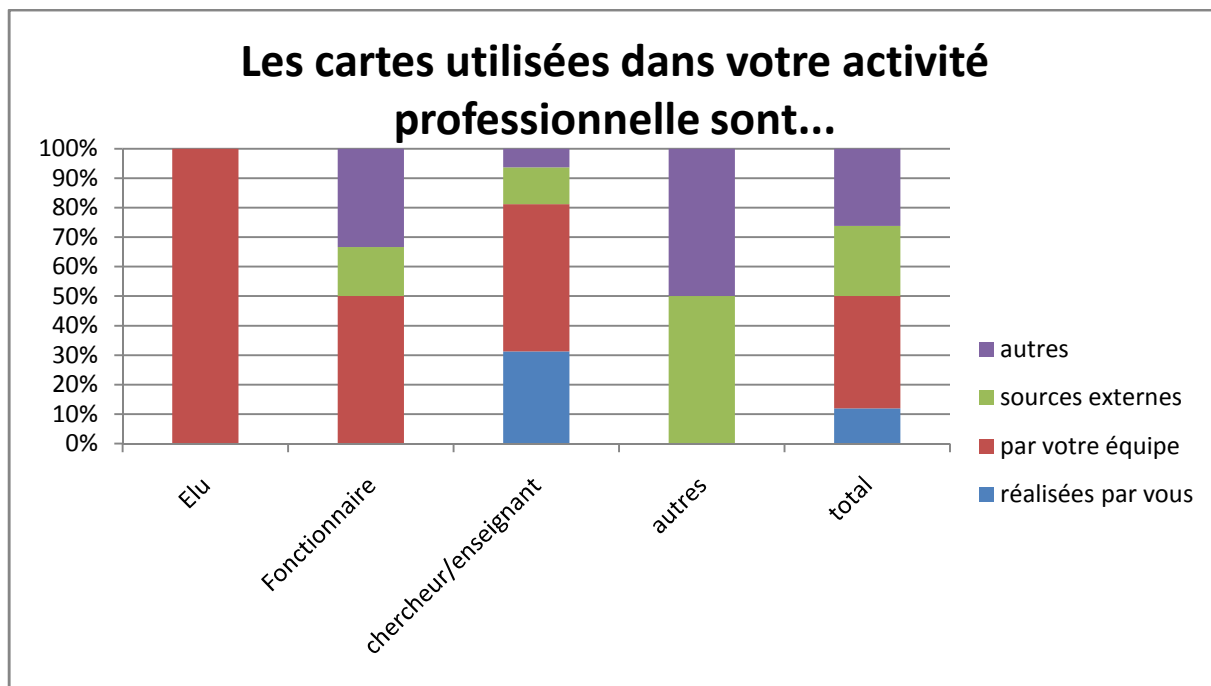


Figure 7 : Provenance des cartes utilisées dans l'activité professionnelle des sujets testés

La figure 8 révèle une autre différence claire entre les chercheurs et les fonctionnaires concernant l'utilisation des cartes. Plus de 50% des chercheurs considèrent la carte comme un outil de recherche alors que presque 50% des fonctionnaires la considèrent comme une illustration. Cependant un pourcentage non négligeable de fonctionnaires (plus d'un quart des fonctionnaires) la considère comme un outil d'aide à la décision, tout comme les élus qui sont catégoriques. Au total, certains partagent l'idée que la carte peut être considérée comme un outil de décision et un outil de recherche. Reste néanmoins que pour un nombre non négligeable la carte reste simplement une illustration ou de support routier par exemple.

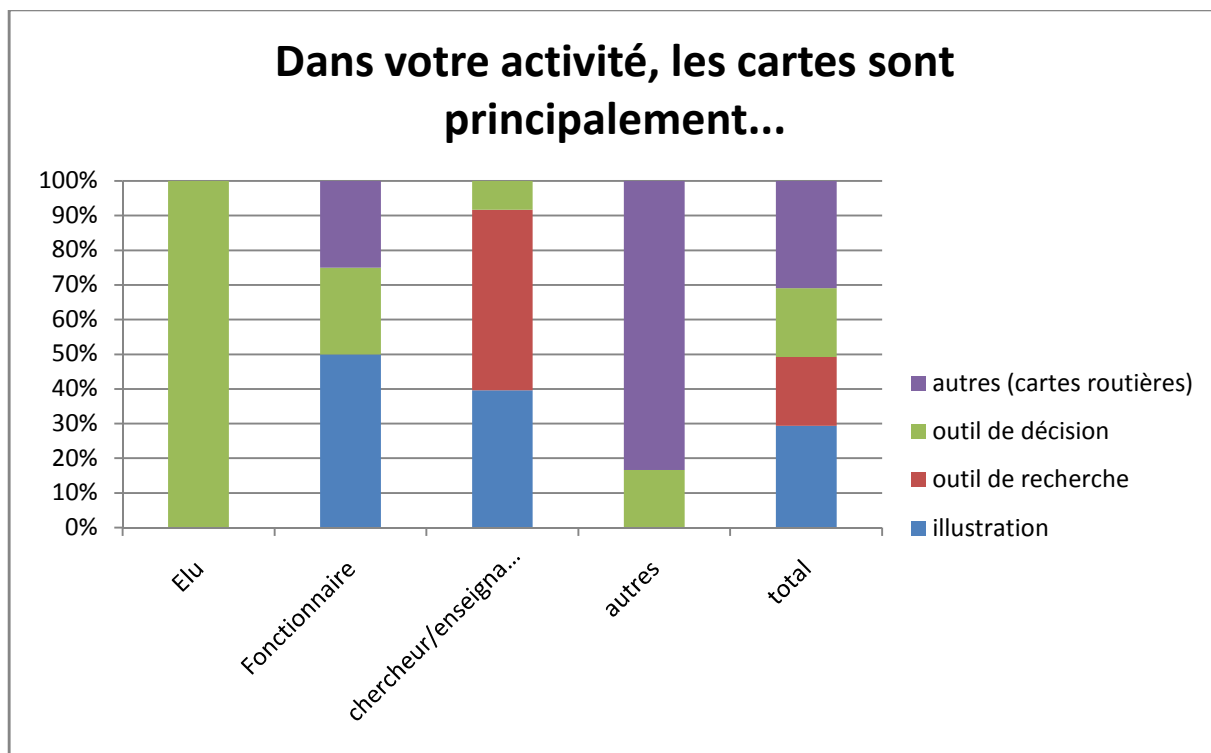


Figure 8 : Utilisation faite des cartes

Le fait que les chercheurs, les fonctionnaires et les décideurs politiques utilisent fréquemment les cartes ne signifie pas pour autant qu'ils ont la même attente et la même conception de leur utilisation. Les chercheurs conçoivent fréquemment des cartes dont ils ont besoin dans leur recherche. Les décideurs quant à eux semblent intervenir moins lors de la conception des cartes dans leur prise de décision. Les fonctionnaires ont recours à des cartes de source interne ou externe selon leur besoin qui alternent entre illustration et outil de décision. Les cartes que conçoivent alors les chercheurs doivent pouvoir être utilisées par les décideurs politiques et les fonctionnaires dans une perspective opérationnelle.

B- Estimation de la qualité de chaque carte

Nous pouvons évaluer la qualité de chacune des 6 cartes du questionnaire de la partie II de l'enquête cognitive, grâce aux réponses apportées par les sujets qui ont évalué certains critères en les notant de 1 à 5.

Les différents critères portaient respectivement sur :

- la complexité de la carte (le niveau 1 correspondrait à une carte facile à lire alors que le niveau 5 à une carte plutôt difficile à lire) ;
- la densité d'information ;
- l'innovation (un niveau 1 correspond à une carte peu innovante) ;
- l'esthétique ;
- et l'intérêt décisionnel.

L'appréciation qualitative de chaque type de cartes, présentée dans le tableau 7 ci-dessous, nous indique clairement les avantages et les inconvénients de chaque type de cartographie.

qualité	carte 2	carte 9	carte 6	carte 11	carte 12	carte 13	TOTAL
complexité	50	82	58	73	74	72	409
densité d'informations	66	73	66	76	71	68	420
innovante	45	57	59	60	62	62	345
esthétique	65	47	70	55	65	60	362
intérêt décisionnel	78	57	73	68	64	67	407

Tableau 7 : Résumé des réponses de la Partie II de l'enquête cognitive (total de points par carte)

Il en ressort tout d'abord que le critère le plus fortement noté est la densité d'informations contenue dans ces six cartes avant la complexité ou l'intérêt décisionnel.

La carte n°2 avec un fond cadastral est considérée comme celle ayant le plus d'intérêt décisionnel malgré un manque d'innovation par rapport aux cartes habituellement conçues. Elle reste également la carte la moins complexe pour les personnes testées et leurs paraît peu dense en informations qui rendrait ainsi la tâche de lecture moins difficile pour identifier l'information recherchée.

La carte n°9 avec un fond en orthophoto-plan infrarouge est considérée à l'opposé de la carte n°2 comme la carte la plus complexe et par conséquent la moins intéressante d'un point de vue décisionnel. Ce résultat d'enquête montre l'incompréhension d'un fond en orthophoto-plan infrarouge qui, de plus, est largement considérée comme la moins esthétique des six cartes de la partie II de l'enquête cognitive. Elle peut paraître inhabituelle et n'apporte à première vue aucune information supplémentaire importante pour la compréhension du risque d'inondation. Pratiquement tous les candidats ont en effet précisé que le fond, trop coloré gêne la lecture.

La carte n°6 avec un fond de photo aérienne est considérée comme plus innovante que les deux précédentes mais surtout de loin plus esthétique. Mais cela ne semble pas être suffisant pour la considérer comme la plus fonctionnelle et plus adaptée pour la prise de décision.

Les cartes n°11, 12 et 13 ont été conçues avec le même fond de carte mais vont différer par la composition de leur légende particulièrement. Elles obtiennent, à travers l'enquête cognitive, des bons résultats dans la majorité des critères testés. La carte n°11 est celle des toutes les autres cartes ayant une densité d'informations importante mais n'étant pas pour autant la plus complexe des cartes. Les cartes n°12 et 13 sont celles qui sont considérées comme les plus innovantes expliquées probablement par une mise en page de la cartouche de légende et la position du titre et de l'échelle inhabituelles et qui semblent contourner certaines recommandations de la sémiologie graphique.

Dans cette deuxième partie de l'enquête cognitive, nous n'avons pas précisé aux sujets la notion de complexité et l'avons laissée libre à leur propre appréciation. Les sujets interrogés associent-ils alors complexité d'une carte et sa densité d'informations ? Pour répondre à cette interrogation, la figure 9 met en corrélation complexité de la carte et densité d'informations contenue. Ce qui semblait évident est rendu compte à travers cette figure : les cartes les plus complexes, selon les sujets, sont celles qui possèdent une plus importante densité d'informations. Les deux courbes présentent presque la même allure, ce qui signifie que la complexité s'explique par la densité d'informations mais compte tenu de l'écart d'amplitude, la complexité fait également intervenir d'autres critères.

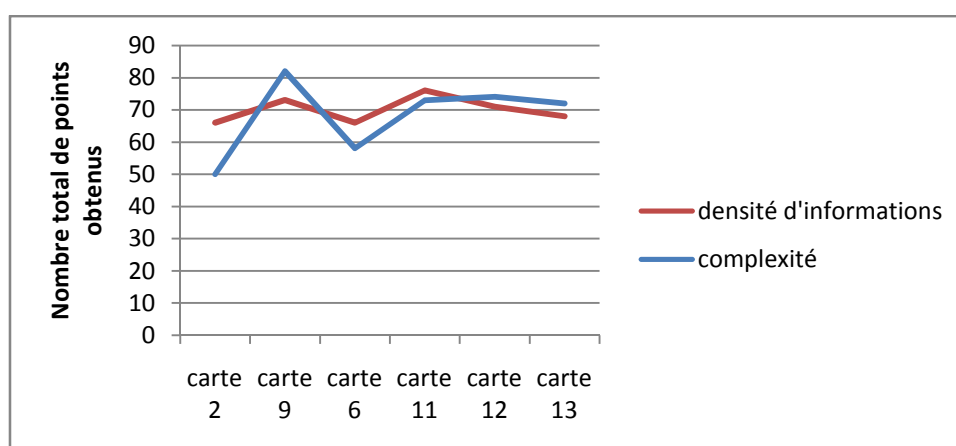


Figure 9 : Corrélation entre densité d'informations et complexité

La figure 10 ci-dessous présente trois types de résultats (innovation, esthétique et intérêt décisionnel) pour chaque carte de la partie II de l'enquête cognitive. Ces six cartes ont dans un premier temps été classées en fonction du score obtenu pour le critère complexité,

suite à l'évaluation faite par les 21 sujets. Sur l'axe des abscisses de la figure, les cartes sont ordonnées de gauche vers la droite par ordre croissant de complexité. Comme nous pouvons le voir clairement sur la figure ci-dessous, les quatre critères semblent être corrélés.

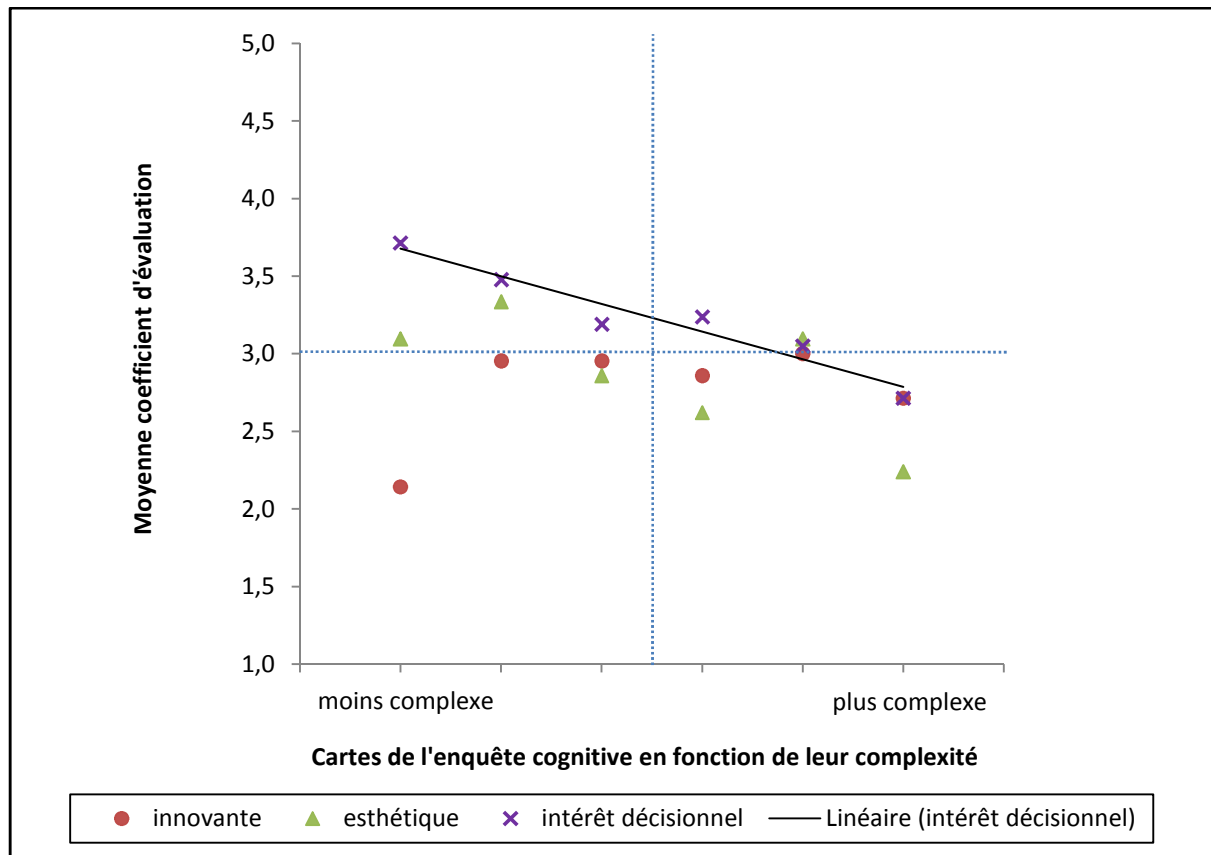


Figure 10 : Evaluation moyenne de l'innovation, l'esthétique et l'intérêt décisionnel pour chacune des 6 cartes du risque d'inondation présentées dans la partie II de l'enquête cognitive, classées par niveau de complexité. La droite verticale en pointillée sépare les trois premières et les trois dernières cartes selon leur niveau de complexité. La droite horizontale en pointillée indique le centre de l'échelle d'évaluation.

Les cartes proposées dans l'enquête cognitive n'apparaissent presque pas comme innovantes. Elles se situent toutes dans la partie inférieure du graphique.

Les cartes les moins complexes (côté gauche de la figure) semblent être celles qui apportent un intérêt décisionnel plus grand (annoncé par des croix). L'analyse linéaire du critère « intérêt décisionnel » confirme cette constatation. Nous pouvons observer une régression linéaire de l'intérêt décisionnel lorsque la complexité de la carte augmente. Cela peut sans doute s'expliquer par une plus grande lisibilité et rapidité de compréhension de la carte qui entraîne une prise de décision en aménagement plus efficiente.

Les sujets ne paraissent pas satisfaits quant à l'esthétique des cartes qui pour eux diminue plus la carte est complexe, hors mis pour la deuxième carte la moins complexe (carte n°6) qui leur paraît plus esthétique que les autres.

En s'intéressant de plus près aux réponses données en fonction des groupes auxquels appartiennent les individus, nous obtenons le tableau suivant :

Cartes	Catégorie	Complexité	Densité d'info	Innovation	Esthétique	Intérêt décisionnel
cartes 1 à 4	total	50	66	45	65	78
	spécialiste	1,8	3,7	2,0	3,2	4,5
	initié	2,1	3,0	2,3	3,3	3,7
	témoin	3,0	2,9	2,1	2,9	3,1
cartes 5 et 9	total	82	73	57	47	57
	spécialiste	4,2	3,0	2,3	2,2	2,7
	initié	3,6	3,7	3,0	2,1	3,1
	témoin	4,0	3,6	2,8	2,4	2,4
cartes 6 et 10	total	58	66	59	70	73
	spécialiste	2,5	3,7	3,3	3,7	4,0
	initié	2,6	3,1	2,9	3,8	3,9
	témoin	3,1	2,8	2,8	2,9	2,8
carte 11	total	73	76	60	55	68
	spécialiste	3,0	3,6	2,8	3,0	4,3
	initié	4,0	3,6	2,7	2,4	2,6
	témoin	3,4	3,8	3,0	2,5	3,0
carte 12	total	74	71	62	65	64
	spécialiste	3,3	3,5	3,3	3,7	4,0
	initié	3,3	3,6	2,9	2,9	2,6
	témoin	3,9	3,1	2,9	2,8	2,8
cartes 13 à 17	total	72	68	62	60	67
	spécialiste	3,8	3,8	3,2	3,2	3,3
	initié	3,6	3,3	2,4	2,3	2,9
	témoin	3,0	3,1	3,3	3,1	3,4

Tableau 8 : Résumé des réponses à l'enquête cognitive (moyennes par carte et par groupe)

Les initiés ont exprimé la difficulté qu'ils avaient eu à lire la carte 11 (moyenne de 4 chez les initiés > à 3,4 chez les témoins > à 3 chez les spécialistes) qu'il désigne comme étant la plus complexe.

Les témoins ont quant à eux estimé que la carte la plus complexe à lire était la carte 12 (moyenne de 3,9 chez les témoins > à 3,3 chez à la fois les initiés et les spécialistes).

En matière de densité d'informations, chaque groupe de sujets tests avait sa propre perception :

- Les témoins ont considéré la carte 11 comme étant « la plus chargée en informations ». Ces derniers ont expliqué qu'ils avaient eu du mal à trouver le titre de cette carte (situé au milieu) et à lire la légende (trop petite).
- Les initiés ont désigné la carte 5 comme étant la plus dense en informations.
- Les spécialistes quant à eux ont trouvé que la plus grande densité d'informations était contenue dans les cartes 13 à 17. Cette impression a pu être donnée par la complexité de la légende (qui contenait jusqu'à 11 types d'informations) qui a d'ailleurs été

considérée comme « écrit trop petite » et « trop complexe » par de nombreux candidats.

Nous remarquons aisément que les candidats ont tendance à assimiler la complexité de la carte et sa densité en informations, constatation confirmée par l'analyse précédente. Ceci laisse à penser que le rendu d'un grand nombre d'informations n'est pas optimal pour les cartes considérées.

Bien qu'ayant été jugées faisant partie des plus complexes par les spécialistes, les cartes 13 à 17 ont également été considérées comme innovantes juste après les cartes 6, 10 et 12 par ce même groupe ainsi que par celui des témoins.

Les initiés ont quant à eux considéré les cartes 5 et 9 comme étant les plus innovantes. Ces réponses laissent entendre que le caractère « innovant » d'une carte lui confère également une certaine « étrangeté » qui complique sa lecture.

Les cartes 6 et 10 ont été considérées par les initiés comme étant les plus esthétiques (moyenne 3,8). Elles ont été jugées plus réalistes. Les commentaires de ces derniers précisent que le fond de carte faisait ressortir l'information essentielle et permettait à une personne connaissant le terrain de se repérer plus facilement (l'arrière plan en vert plus réaliste). Les témoins ont quant à eux préféré le caractère épuré des cartes 13 à 17.

Les cartes 1 à 4, suivies d'assez près par les cartes 6 et 10 sont apparues aux spécialistes et aux initiés les plus intéressantes en termes de décision. Ainsi, le caractère plus simple du fond de carte, assorti d'un bon contraste de l'information principale a fait préféré aux spécialistes (moyenne 4,5) et aux témoins (moyenne 3,7) les cartes 1 à 4 en matière d'intérêt décisionnel.

Ainsi il apparaît clairement que chaque catégorie de public n'a pas les mêmes attentes en matière de communication cartographique. Le tableau 9 suivant résume d'ailleurs leurs préférences respectives.

<i>Catégorie</i>	Les moins complexes	Les moins denses	Les plus innovantes	Les plus esthétiques	Les plus intéressantes pour la décision
Total (score)	Cartes 1 à 4	Cartes 1 à 4	Cartes 13 à 17	Cartes 6 et 10	Cartes 1 à 4
<i>Spécialistes</i>	Cartes 1 à 4	Cartes 5 et 9	Cartes 13 à 17	Cartes 6 et 10	Cartes 1 à 4
<i>Initiés</i>	Cartes 1 à 4	Cartes 1 à 4	Carte 5 et 9	Cartes 6 et 10	Cartes 6 et 10
<i>Témoins</i>	Cartes 1 à 4	Cartes 6 et 10	Cartes 13 à 17	Cartes 13 à 17	Cartes 13 à 17

Tableau 9 : Résumé des préférences des différentes catégories de candidats

Section 2 - Analyse des travaux expérimentaux

L'analyse des résultats obtenus lors de notre approche en Sémiologie Graphique Expérimentale se fera en trois temps avec une analyse statistique, une statique et une dynamique.

Lors de cette recherche, différents type d'indicateurs ont été enregistrés grâce au video-oculographe pour l'analyse des mouvements oculaires des sujets. Ces indicateurs, considérés comme des variables dépendantes, nous serviront en grande majorité pour notre analyse statistique.

Le premier de ces indicateurs est le nombre de fixations oculaires lors de la lecture de la carte et le second est la durée des fixations. Ce second indicateur est très fortement corrélé au premier. Un nombre de fixations important ou une durée de fixation importante dans certaines zones de la carte impliquerait que le sujet intègre les informations présentées de façon plus profonde. Le troisième indicateur est le nombre de saccades que le sujet effectue lors de la lecture de la carte pour passer d'une fixation à une autre, c'est-à-dire la fréquence avec laquelle le regard passe d'une zone d'intérêt de la carte à une autre. Ces saccades témoignent des déplacements attentionnels et des stratégies d'inspection de la carte lors de sa lecture.

Avant d'analyser les enregistrements et les résultats obtenus lors des tests d'oculométrie, il est judicieux de s'arrêter sur ces notions qui nous seront utiles par la suite pour notre analyse. Ces définitions résultent des mesures qu'avaient effectuées Golberg et Kotval et dont se sont servis les auteurs du rapport *Applying eye-movement tracking for the study of map perception and map design* et de nombreux autres rapports de recherche à ce sujet.

Le nombre de fixations par carte est lié au degré d'efforts visuels et cognitifs dans la recherche d'objets significatifs, plus ou moins attractifs. Cet indicateur peut permettre de mettre en exergue les obstacles en termes de représentations symboliques et de leur disposition. Un nombre élevé de fixation indique une exploration visuelle intense qui peut correspondre à la lecture d'un texte ou d'une image.

La moyenne des durées de fixation par carte renseigne sur la durée que le sujet a consacrée pour visualiser les différentes zones de l'image. Il fournit une indication sur les objets qui ont le plus (ou le moins) retenu l'attention du sujet. Elle peut être utilisée comme un indicateur utile pour la comparaison de la complexité des cartes visionnées.

De longues fixations (unité en milliseconde) indiquent que la personne concentre beaucoup de temps dans le processus cognitif pour interpréter l'information. Une durée de fixation longue peut aussi signifier parfois un manque d'objets significatifs à observer, ou que l'œil a rencontré des difficultés dans la compréhension de l'information.

Une grande proportion (unité en %) de longues fixations indique plus de temps passé à décoder et interpréter les représentations symboliques et graphiques dans leur disposition.

La durée du chemin parcouru ou chemin balayé (unité en millisecondes) est le temps passé dans une zone d'intérêt ou aire d'intérêt. Elle peut être utilisée pour comparer le comportement visuel standard avec le comportement observé, c'est-à-dire le sujet suit-il une stratégie rationnelle, sensée ou sensible.

La longueur du chemin balayé (unité en millimètres) peut servir à déterminer si de longues recherches sont causées par une non-représentation significative ou pour la disposition de l'interface non satisfaisante. Elle peut également permettre de comparer le comportement visuel optimal/standard avec le comportement observé.

Une saccade est le saut ou le passage entre deux fixations. Le nombre de saccade renseigne sur le nombre de mouvements oculaires de type saccades effectués pour passer d'un objet visuel à un autre. Un grand nombre de saccades indique un faible degré d'efficacité de la recherche et une disposition de l'interface non satisfaisante et non optimale. Il peut traduire une certaine difficulté du sujet à identifier l'information principale.

L'amplitude des saccades décrit la distance (unité en millimètres) ou la distance angulaire (unité en degré) entre les fixations, en conséquence, la distance entre les zones fixées. Elle peut être un indicateur pour la complexité de la recherche. Des saccades de grandes amplitudes peuvent être liées à une dispersion de l'information visuelle.

Un grand nombre de retour sur une zone d'intérêt par rapport au reste de l'interface peut être une indication d'une recherche non efficiente.

Si une personne revient sur une cible toujours visitée cela indique que la personne est dubitative au sujet de la signification de cette cible. Un grand nombre de retours en arrière indique une médiocre lisibilité et signification de la carte.

Une zone d'intérêt ou aire d'intérêt sera pour nous une zone de la carte qui présente un grand nombre d'informations utiles pour la compréhension de la carte (ex : la légende, le titre...).

A-Analyse statistique

Dans cette analyse statistique, nous tenterons dans un premier temps, à partir de ces différents indicateurs, de dégager les cartes qui semblent objectivement générer le plus de difficultés dans leur lecture ou le plus de problèmes de compréhension ou bien encore identifier les cartes sur lesquelles les personnes testées ont porté le plus d'attention.

Puis dans un deuxième temps, en regroupant les individus par groupe, nous nous attacherons sur chaque carte à identifier des comportements visuels distincts développés par chaque groupe.

La figure 11 ci-dessous s'interroge sur le nombre de fixations moyen accordé à chaque carte au cours des enregistrements. Pour chaque carte, l'analyse de ce type d'indicateur nous renseigne sur l'effort visuel mobilisé par les individus dans l'exploration de la carte et dans la recherche d'objets plus ou moins attractifs constituant cette dernière.

Le tracé de la droite, qui forme la moyenne des fixations totales enregistrées, permet d'identifier les cartes générant plus de fixations par rapport aux autres.

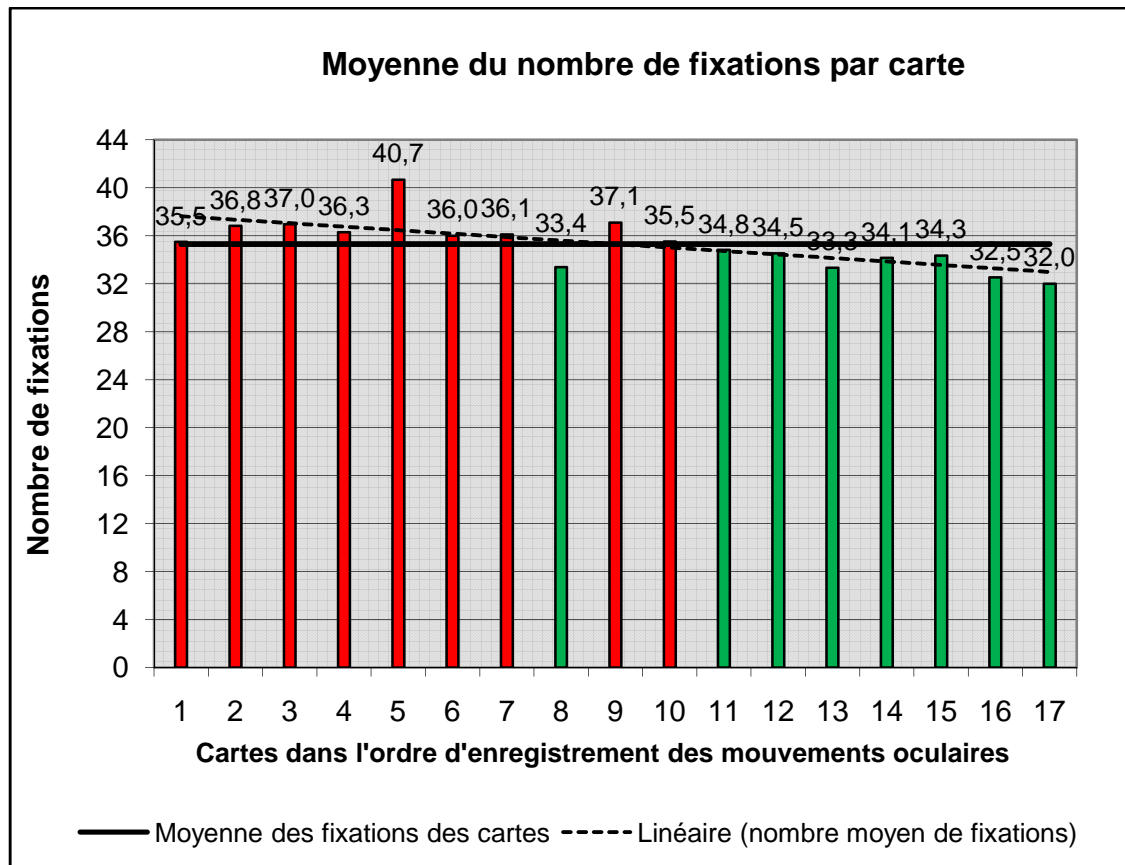


Figure 11 : Moyenne du nombre de fixations par carte

Les 17 cartes n'ont pas mobilisé la même exploration visuelle puisque nous pouvons observer des nombres moyens de fixations différents selon les cartes. Cependant, compte tenu du temps courts des enregistrements (15 secondes par carte), les écarts entre les nombres moyens de fixations des cartes sont relativement faibles. Il ne semble pas judicieux alors de prendre en compte les variations d'une unité ou deux, peu significatives ici.

Nous pouvons identifier ainsi deux groupes de cartes : dans un premier temps à la moyenne des fixations totales, et dans un second temps les cartes dont le nombre de fixations moyen est inférieur à cette moyenne.

Les cartes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 et 10 ont généré plus de 35,3 fixations (bâtons de l'histogramme en rouge sur la figure...). Ce nombre plus élevé de fixation indique une exploration visuelle intense qui peut correspondre à une exploration des éléments de la carte les plus marquants visuellement.

La carte n°5 semble avoir générée plus de fixations que les autres cartes (avec un minimum de 4 points au dessus des autres). L'explication pourrait provenir du fond de carte (orthophotographie IR) qui paraît inhabituel avec sa couleur rose fuchsia par rapport la conception habituelle des cartes qui respectent les règles de la sémiologie graphique.

La carte n°9 qui présente un fond identique n'a cependant pas généré un aussi grand nombre de fixations. Cette différence n'est pas surprenante puisque les sujets en sont, à ce stade là des enregistrements, à visionner une deuxième carte avec ce même type de fond. L'effet de surprise ou d'interrogation est donc moins grand. Ce résultat est confirmé dans les enquêtes cognitives des sujets lorsqu'ils sont amenés à donner leur avis sur une carte ou à préciser certains éléments de leurs réponses aux questions de la partie II.

Les cartes 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16 et 17 ont suscité moins de 35 fixations (bâtons de l'histogramme en vert sur la figure...).

Ce dernier groupe de cartes a généré une plus faible exploration visuelle. Elle peut être liée à une faible densité d'informations graphiques et/ou à un phénomène de lassitude. Ces cartes se situent en effet à la fin de l'enregistrement et nous pouvons remarquer que le nombre de fixations diminue de la première à la dernière carte d'après la droite de régression linéaire.

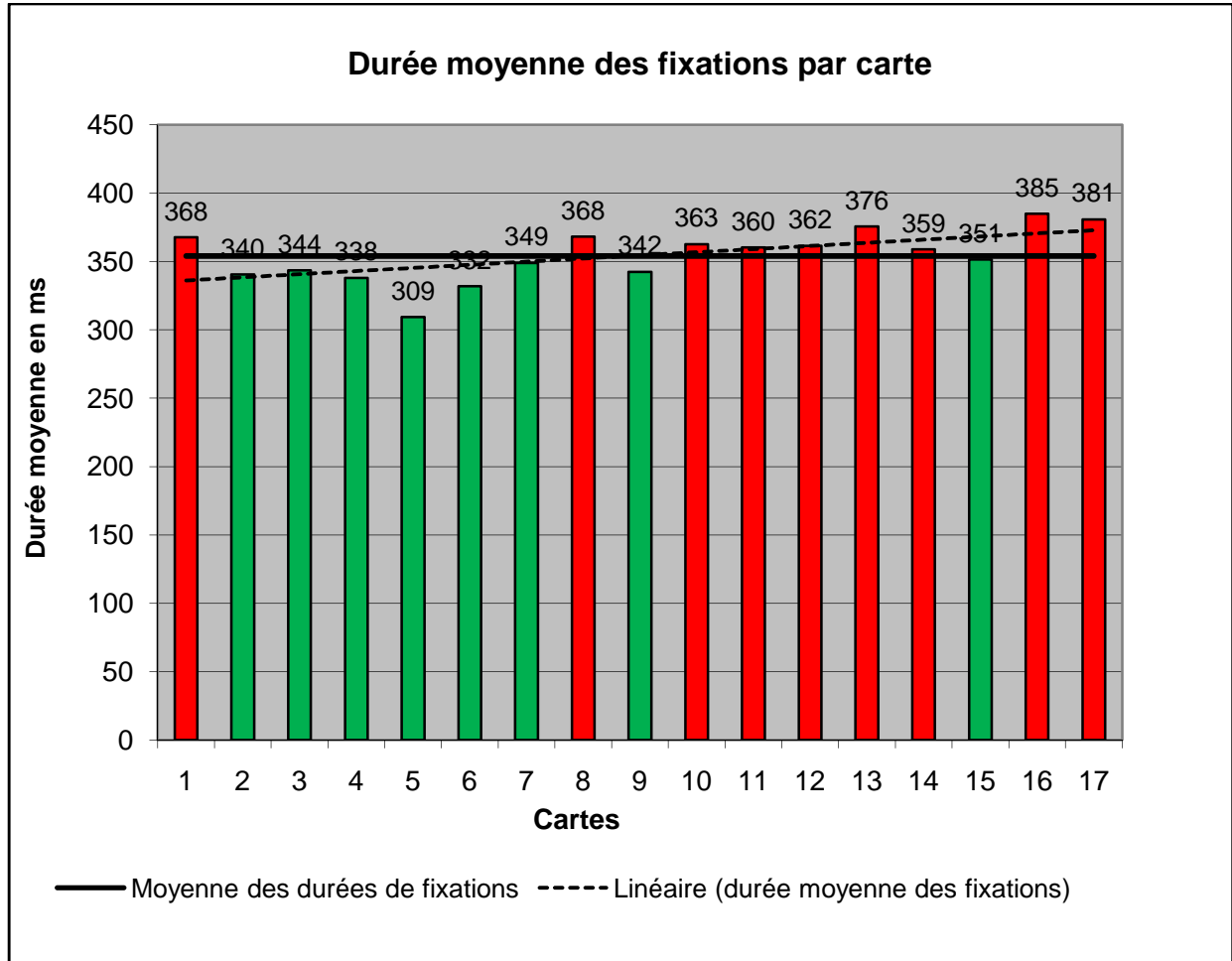


Figure 12 : Durée moyenne des fixations par carte

Tout comme pour la figure 11, nous avons cette fois-ci tracé la moyenne des durées de fixations des six cartes.

Les durées de fixations pour les cartes 1, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16 et 17 sont supérieures à la moyenne des durées et par conséquent aux autres cartes. Ces cartes, à l'exception des cartes n°1 et 10, étaient les cartes pour lesquelles les sujets avaient développé moins de fixations par rapport aux autres cartes. La tendance du nombre de fixations est donc inverse à celle de la durée moyenne de fixations, c'est-à-dire, plus le nombre de fixations est important plus la durée moyenne de fixations est faible (ce qui n'est pas étonnant et semble plutôt logique).

Les cartes 5 et 9 qui avaient mobilisées le plus de fixations, présentent effectivement des durées moyennes de fixations plus faibles que les autres cartes.

De même, les cartes 8 et 13 qui avaient mobilisées un nombre de fixations relativement faible et inférieur aux autres cartes, présentent des durées moyennes de fixations relativement élevées.

Les deux graphiques 11 et 12 montrent que plus le nombre de fixations est élevé, plus la durée correspondante est faible et inversement. En raison d'enregistrements d'une durée de 15 secondes seulement, nous ne pouvons à ce stade de notre réflexion établir d'autres conclusions quant aux différences de fixations entre les cartes.

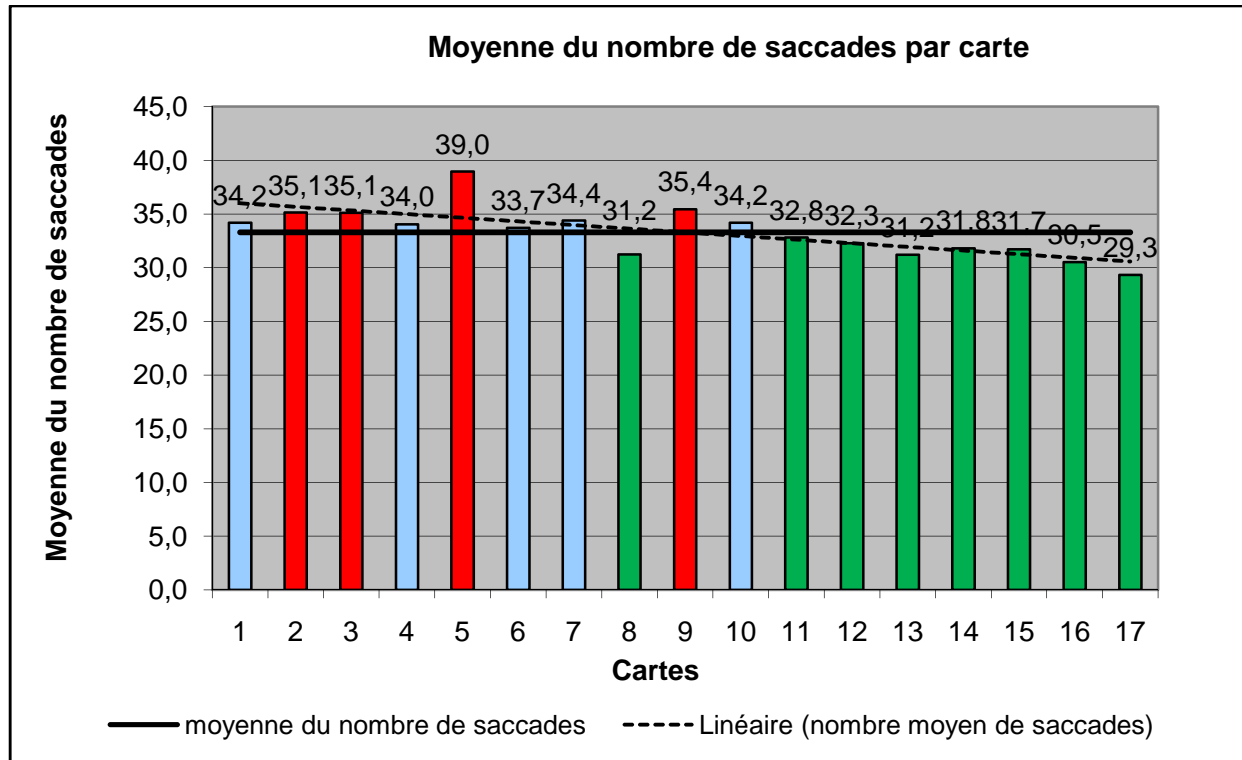


Figure 13 : Moyenne du nombre de saccades par carte

En procédant de la même manière, par une analyse du nombre de saccades par cartes, les mêmes constatations peuvent être faites que pour le nombre de fixation. Nous pouvons identifier deux voir trois groupes de cartes selon le nombre de saccades qu'elles ont suscité. Ainsi, les cartes 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16 et 17 ont suscité le plus faible nombre de saccades, moins de 33 saccades (comme indiqué sur le graphe 13 par les bâtons verts).

Les autres cartes ont généré un nombre de saccades supérieur à la moyenne des saccades. Cependant quatre cartes semblent cette fois-ci se distinguer plus nettement avec plus de 35 saccades (annoncé par les bâtons rouges). Il s'agit des cartes 2, 3, 5 et 9. Elles correspondent aux cartes qui avaient également un nombre de fixations élevé.

Par définition, nous avons annoncé qu'un grand nombre de saccades indique un faible degré d'efficacité de la recherche et une disposition/organisation de la carte non satisfaisante et non optimale. Les sujets perçoivent des difficultés à identifier l'information principale. La raison que nous pourrions évoquer là encore est celle du fond des cartes 5 et 9.

Les cartes 1, 4, 6, 7 et 10, quant à elles, ont généré un nombre de saccades compris entre 33 et 35 saccades (annoncé par les bâtons bleus).

Nous observons donc la même évolution des moyennes du nombre de fixations et de saccades qui, dans ce cas de figure, diminuent de la 1^e à la 17^e carte. Il existe donc une corrélation entre le nombre de fixations (zones attractives fixées visuellement) et celui des saccades, mouvements oculaires qui permettent le passage d'une zone de l'image à une autre.

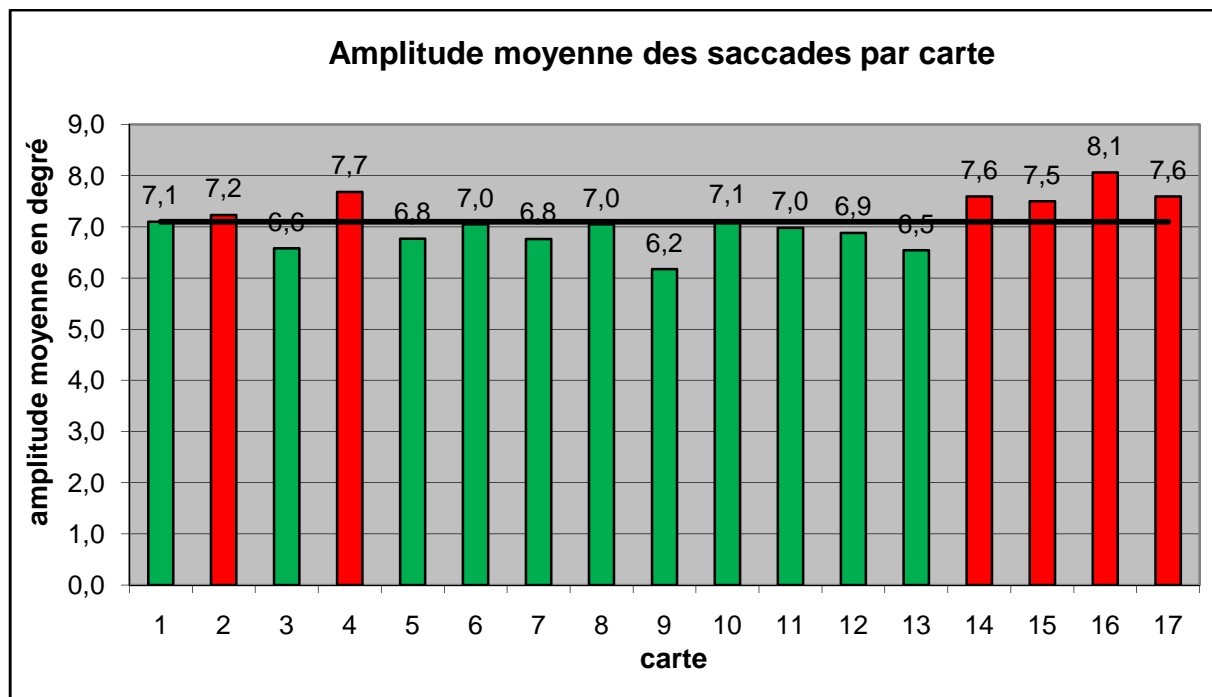


Figure 14 : Amplitude moyenne des saccades par carte

Les quatre dernières cartes (la carte n°14, 15, 16 et 17), qui ne paraissaient pas gêner à priori les sujets dans l'efficacité de leur recherche d'informations (compte tenu d'un faible nombre de saccades relativement aux autres cartes), semblent ici provoquer des mouvements saccadiques d'amplitude supérieure aux autres. Chose étonnante, les cartes 11, 12 et 13 de la même catégorie ne génèrent pas ce type d'amplitude. Elles étaient pourtant jugées comme relativement complexes par rapport aux autres cartes de l'enquête cognitive, dû à un grand nombre d'informations apporté. Le visionnage successif de ces sept dernières cartes semble dérouter les sujets. Ainsi, sur la fin de l'observation des cartes, les sujets paraissent révéler des signes d'une dispersion de la lecture dans la recherche d'informations visuelles. Il s'agirait plus d'une déroute et d'une lassitude, due à la quantité de cartes visionnées, et non due à une organisation de la carte.

Afin d'analyser plus finement les résultats et les enregistrements des mouvements oculaires, nous allons tenter de classer les individus par groupe. L'objectif est également de déterminer des grandes tendances, des stratégies visuelles que dégagent chaque groupe d'individus.

L'enquête cognitive permet dans un premier temps de différencier les utilisateurs fréquents des cartes et ceux occasionnels (utilisation des cartes une fois par mois voir moins). Cependant parmi ces initiés, nous pouvons différencier les spécialistes qui conçoivent leurs propres outils de travail avec la sémiologie graphique et ses recommandations. A partir de ces critères, nous avons effectué un regroupement d'individus en trois classes : spécialiste, initié et témoin (se référer à l'annexe n°8).

L'analyse des résultats par groupe de candidats confirme les précédentes observations en y apportant certaines précisions.

En effet, si l'on trace la courbe de tendance de la moyenne du nombre de fixations par groupe et par carte, une régression linéaire est nettement observable et montre que cette moyenne du nombre de fixations diminue de la carte 1 à la carte 17.

Ceci peut être lié à trois facteurs :

- La fatigue, dans la mesure où le processus d'enregistrement pour les 17 cartes a duré environ 25 minutes par candidat.
- Un phénomène d'accoutumance : le lecteur s'habitue progressivement à la lecture cartographique.
- La répétitivité de certaines cartes : les cartes 13 à 17 sont effectivement peu différenciées visuellement.

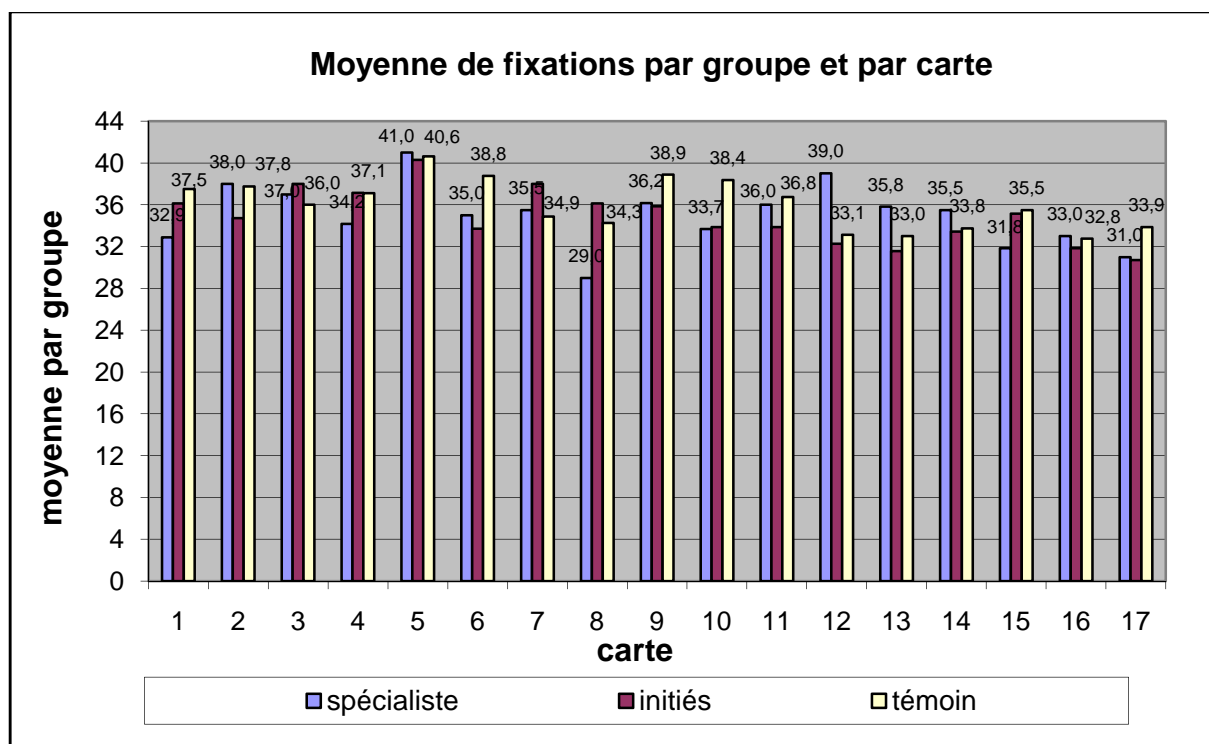


Figure 15 : Moyenne de fixations par groupe et par carte

Au regard de la figure 15, représentant le nombre de fixations par groupe et par carte, il semble assez difficile de généraliser des comportements pour chaque type de groupe.

Nous allons tout de même éclaircir certains constats.

Il apparaît clairement que la carte 5 est celle pour laquelle tous les groupes ont mobilisé le plus grand nombre de fixations. Cette carte a donc particulièrement attiré leur attention. Il s'agit de la première carte présentée avec un fond d'orthophotographie en Infra Rouge.

Par ailleurs, on constate que les spécialistes ont réalisé un nombre de fixations significativement supérieur à celui des deux autres groupes de candidats pour les cartes 12, 13, 14 de la catégorie 2.

Les « témoins » ont quant à eux focalisé leur attention sur les cartes 1, 6, 9, 10, 11, 15, 17. Ils ont en effet réalisé, pour ces cartes, un nombre de fixations supérieur à celui des deux autres catégories de sujets.

La figure 15 montre que la moyenne des fixations des non-initiés (« témoins ») à la cartographie est plus élevée d'au moins 4 unités que celle des spécialistes pour les cartes 1, 6, 8, 10 et 17. Nous pouvons rappeler que l'enregistrement des mouvements oculaires n'a duré

que 15 secondes, et qu'une unité dans les fixations n'est probablement pas significative compte tenu de ce temps très court alors que 4 unités est largement satisfaisant.

Une première hypothèse pourrait être formulée à la suite de ces observations : un fond de carte fortement coloré semble générer une plus forte exploration visuelle chez les sujets témoins.

Le groupe des « initiés » présente un comportement visuel assez variable. Pour les cartes 3, 6, 9, 10 et 17, le comportement de ce groupe se rapproche de celui des spécialistes et pour les cartes 1, 4, 5, 12, 13, 14 et 15, il se rapproche du comportement des témoins. Il n'y a que pour les cartes 2 et 11 (moins de fixations que les autres groupes), 7 et 8 (plus de fixations que les autres groupes) que ce groupe de candidats a montré un comportement spécifique.

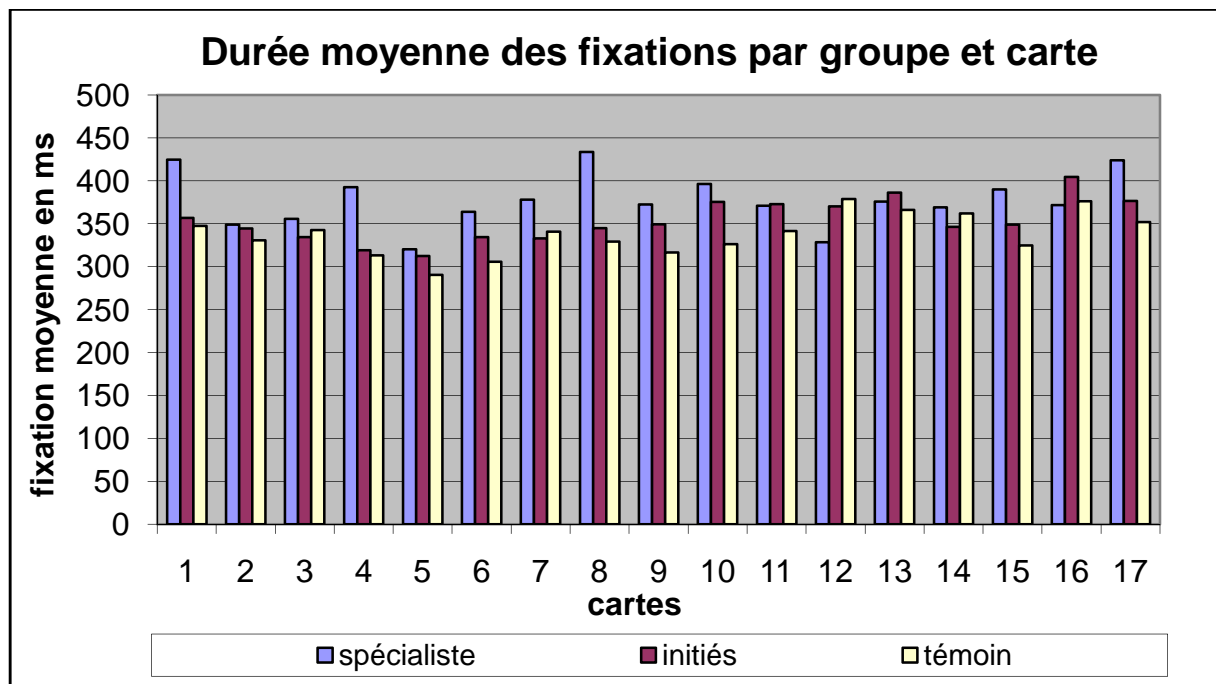


Figure 16 : Durée moyenne des fixations par groupe et par carte

La figure 16 montre que, excepté la carte 12, la durée moyenne de fixations est plus élevée pour les spécialistes que pour les témoins. Par exemple, pour les cartes 1, 4, 8, 10 et 15 la durée moyenne de fixations sont nettement plus élevées chez les spécialistes que chez les témoins (la différence est de 104 millisecondes environ pour la carte 8).

De plus, pour 13 cartes sur 17, la durée moyenne des fixations des spécialistes est supérieure à celle des deux autres groupes de sujets alors même que le nombre de fixations de ce groupe était inférieur ou proche (moins de deux unités) de celui des deux autres groupes pour 10 cartes sur 17.

À la lumière de ce qui précède, l'analyse de la durée moyenne des fixations par groupe et par carte, on constate que la relation inverse entre le nombre de fixation et leur durée est vérifiée. Ceci est particulièrement net si l'on se réfère aux résultats obtenus pour le groupe des spécialistes sur les cartes 1, 4, 17 et surtout 8 (Graphique 16 ci-dessus).

En résumé, les deux figures précédentes (figure 15 et figure 16) suggèrent que :

- D'une part, la moyenne du nombre de fixations correspondant à l'enregistrement des 17 cartes est plus importante pour certaines cartes chez les non initiés et pour d'autres cartes chez spécialistes.
- D'autre part, la durée moyenne des fixations de l'observation des 17 cartes est plus importante pour les initiés que pour les non initiés.

Le fait que la moyenne du nombre de fixations pour certaines cartes soit plus importante chez les non initiés pour un temps d'exposition de 15 secondes implique que la durée moyenne de fixation soit automatiquement plus petite chez les non initiés.

A ce stade de notre recherche, on peut donc supposer que les spécialistes dispersent moins leur attention (nombre de fixations par carte moindre) que les non spécialistes sur la carte et que ceux-ci en font une lecture plus approfondie, dans la mesure où ils consacrent plus de temps aux endroits fixés visuellement.

La répartition des saccades en fonction de leur direction, fournit des informations sur les stratégies visuelles déployées par les sujets testés selon la position des principaux éléments de la carte.

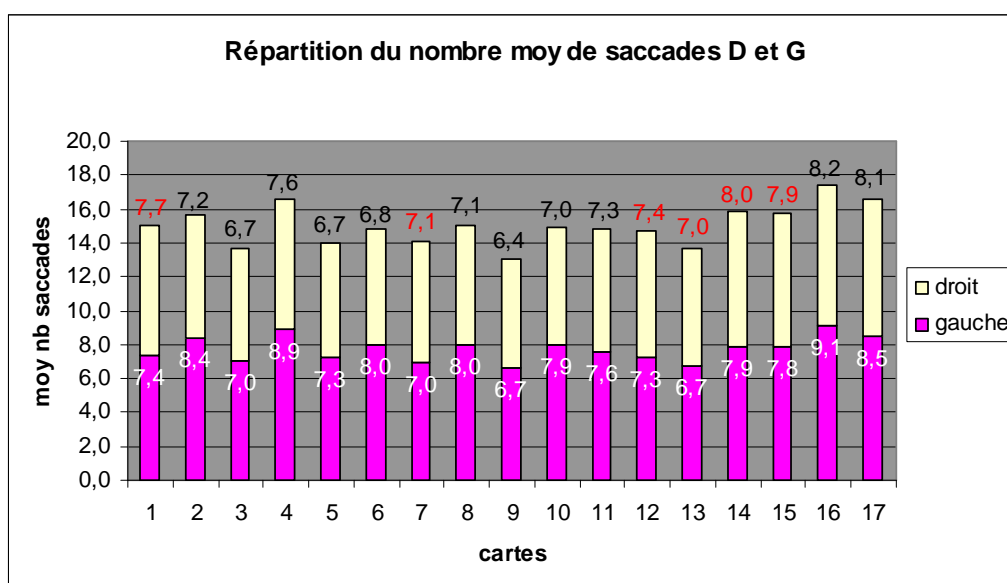


Figure 17 : Répartition du nombre de saccades selon leur direction (droite ou gauche)

N° cartes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Position légende	D	G	D	G	D	G	D	G	D	G	D	D	D	D	D	D	D
Sens « dominant » des saccades	D	G	G	G	G	G	D	G	G	G	G	D	D	D	D	G	G
Correspondance (1) ou non (0) avec la position légende	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0

Tableau 10 : Correspondance du nombre de saccades gauche et droite avec la position de la légende

Où :

G : gauche et D : droite

1 : existe une correspondance entre le sens dominant des saccades et la position de la légende

0 : pas correspondance

Si l'on compare la part des saccades vers la droite et vers la gauche avec la position de la légende (tableau 7 ci-dessus), on s'aperçoit que dans 11 cas sur 17, le plus grand nombre de saccades a été observé du côté où se situe la légende.

Ce nombre est même vraisemblablement supérieur car certaines saccades sont pratiquement verticales et n'apparaissent donc pas dans ce calcul. Comme nous le verrons lors de l'analyse spatiale des mouvements oculaires, ces saccades verticales correspondent dans de nombreux cas à des phases de lecture de la légende (ces saccades verticales ou quasi verticales correspondent à des liaisons entre fixations déployées lors de la lecture de la légende).

Ainsi, pour 11 cartes sur 17 (pour plus de 64% des cas), un nombre de saccade supérieur respectivement à droite et à gauche correspond à l'emplacement de la légende. Ce qui signifie que la légende a tendance à attirer le regard.

Nous affinerons cette observation à l'aide des résultats de l'analyse spatiale et dynamique.

B- Analyse statique ou spatiale des mouvements oculaires

1 - Analyse spatiale pour l'ensemble de l'échantillon

Dans cette partie, nous analysons les enregistrements des tracés des mouvements oculaires relatifs à l'exploration des différentes cartes.

L'analyse spatiale a pour objectif d'identifier des régularités ou au contraire des particularités dans les stratégies visuelles déployées par les sujets, c'est-à-dire dans la façon dont les candidats ont appréhendé visuellement les cartes.

Quels sont les éléments d'une carte qui ont été le plus regardés ? D'une carte à l'autre, ces éléments ressortent-ils de manière relativement constante ou non en fonction des choix sémiologiques ?

Pour se faire, nous avons dans un premier temps regardé de manière globale les résultats de tout l'échantillon et dégager des régularités ou des éléments répétitifs. Nous illustrerons ces résultats en prenant différents candidats.

Cette analyse a également pour objectif d'identifier les particularités visuelles propres aux différents groupes de candidats. Selon les sujets, l'exploration de la légende peut être systématique ou quasi inexistante...

Nous avons donc, dans un deuxième temps, réalisé une lecture plus détaillée des enregistrements⁹¹ des mouvements oculaires, par groupe et par carte, ce qui nous a permis de revenir sur des situations particulières qui contrastaient avec l'analyse générale.

⁹¹ Films ou vidéo (fichiers de format avi).

De telles particularités renseigneraient sur des stratégies visuelles selon les catégories de candidats. Elles pourraient donc servir de base à des recommandations dont l'objectif serait la conception de cartes adaptées à chaque type de public destinataire.

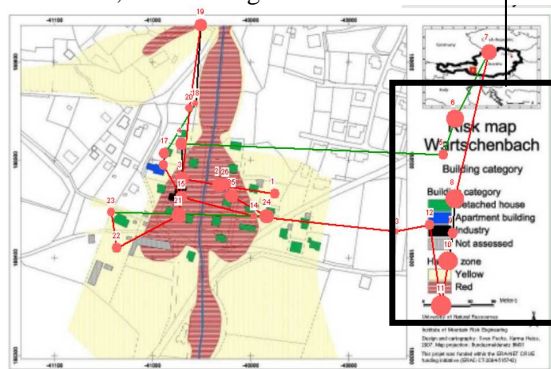
L'analyse spatiale des mouvements oculaires nous donne des informations sur les lectures différenciées du titre et de la légende.

Le premier constat tiré de cette analyse est que les zones de texte, les zones colorées et celles de fort contraste attirent le regard. Lors des enregistrements des mouvements oculaires, les sujets ont porté de plus longues fixations sur des éléments tels que le titre, la légende ou encore des éléments distinctifs de la carte elle-même. Ces longues fixations indiquent que les sujets ont concentrés beaucoup de temps dans le processus cognitif pour interpréter l'information de ces éléments.

Le regard suit en effet les informations écrites (légende et titre), qu'elles soient positionnées à droite ou à gauche de la carte comme on peut le constater en se référant aux enregistrements effectués pour S.Fuchs sur les cartes 1 et 4.

Mouvements oculaires développés pour
la lecture du titre et de la légende

S. FUCHS, Carte 1 : légende à droite



S. FUCHS, Carte 4 : légende à gauche

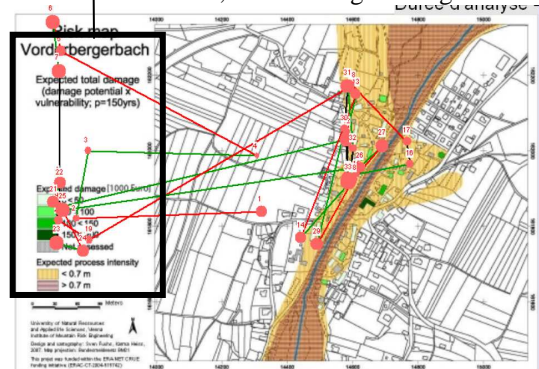


Figure 18 : Mouvements oculaires développés pour la lecture du titre et de la légende

Le regard est également attiré par les zones les plus colorées et à tendance à les suivre, qu'elles soient orientées selon un axe vertical (S. Fuchs, Cartes 1 et 8) ou en diagonal (S. Fuchs, Cartes 11 et 15).

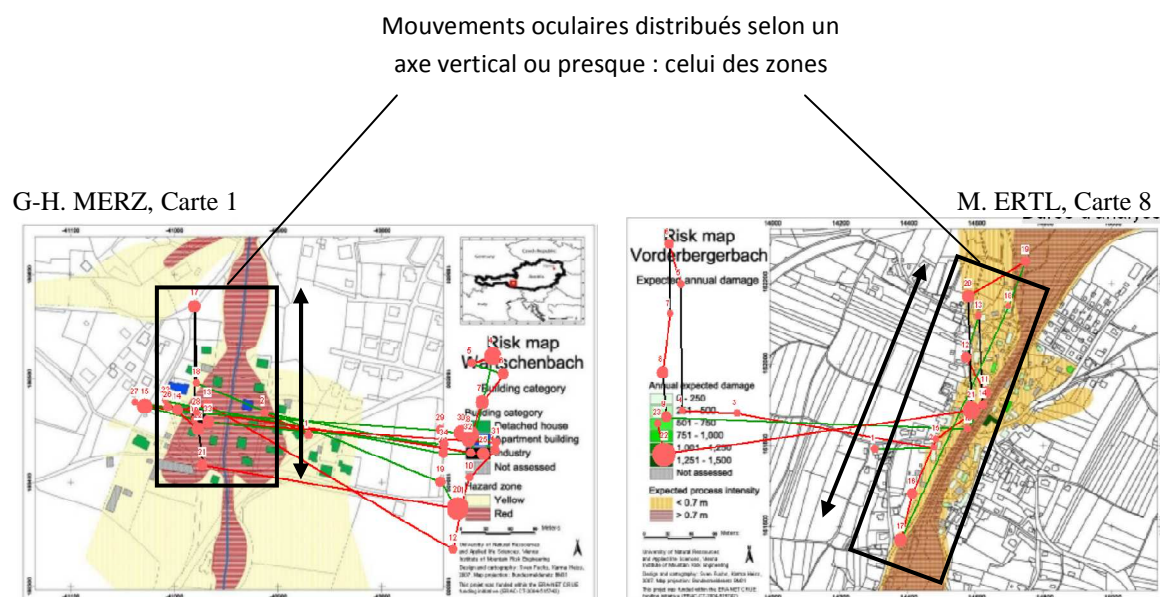


Figure 19 : Mouvements oculaires distribués selon un axe vertical ou presque

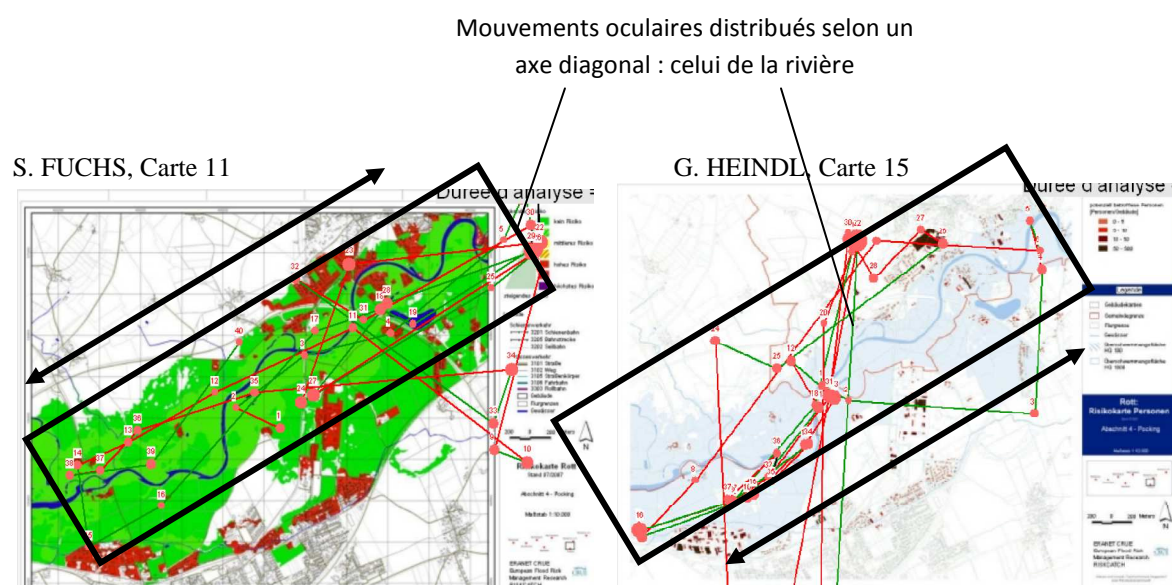


Figure 20 : Mouvements oculaires distribués selon un axe diagonal

Nous verrons par la suite, dans une analyse de zones d'intérêt, que le texte et les zones colorées génèrent plus de 90% des fixations. Ces zones d'intérêt peuvent être les zones où se trouve le titre, la légende ou l'information cartographique, c'est-à-dire l'élément de la carte le plus attractif, souvent central.

Nous avons également étudié la façon dont le regard se fixait ou non sur ces différents éléments et avons pu constater des régularités mais aussi des variantes d'une carte à l'autre en fonction de la sémiologie graphique. Nous présenterons les principaux résultats obtenus en les illustrant de nouveau par les résultats de différents candidats.

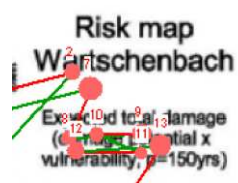
1.1. « L'effet titre »

Le titre fournit la première information majeure sur la carte et aide à son interprétation. Pratiquement tous les candidats ont regardé le titre dans les dix premières fixations (exemples des Cartes 2, 5, et 10 ci-dessous), quand celui-ci était placé dans la partie supérieure de la carte.

S. FUCHS, Carte 2,
(Fixations 5-6 et 7 du titre)



H. BAPTISTE, Carte 5
(Fixations 2 et 7 à 13 du titre)



H. GRUBER, Carte 10
(Fixations 3, 4 et 5 du titre)

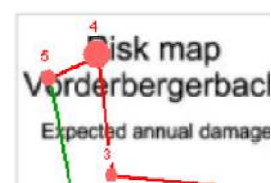
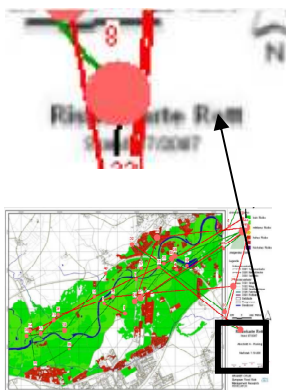


Figure 21 : Visualisation des titres dans les 10 premières secondes

En revanche, lorsque le titre est situé dans la partie inférieure de la carte, il est très peu regardé ou pas du tout par les candidats testés. Ceci est particulièrement net pour les cartes allemandes (Enregistrements de Keiler pour la carte 13 et de Burel pour la carte 11).

Placé dans la partie inférieure de la carte et dans un cartouche de couleur claire, le titre est observé rapidement (H. Gruber, Carte 11, fixation n°8) alors que placé dans la partie inférieure dans un cartouche de couleur sombre, le titre n'est trouvé que tardivement (exemple S. Fuchs, le titre de la Carte 13 a été fixé au bout des 42^e et 43^e fixations),

H. GRUBER, Carte 11



S. FUCHS, Carte 12

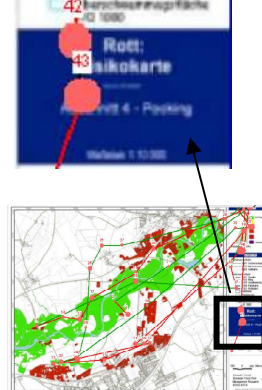


Figure 22 : Vitesse de visualisation des titres

Ou n'a pas été regardé (le cas de W. Dorner en est un exemple pour la carte 13 ; S. Fuchs, Cartes 15, 16) alors qu'il a été consulté lorsqu'il était situé en haut de la carte (L. Sellami, Carte 17).

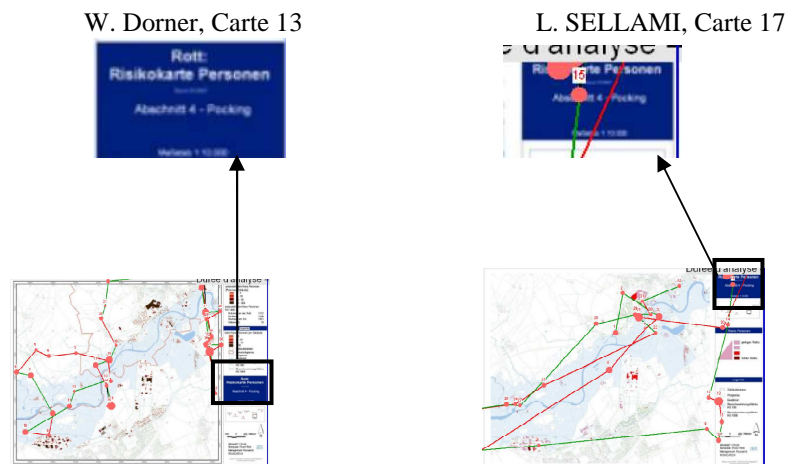


Figure 23 : Visualisation non systématique des titres

Ainsi, le titre semble remplir mieux sa fonction informative lorsqu'il est placé dans la partie supérieure de la légende et quand il est mis en valeur par un jeu de contraste (texte de préférence foncé sur fond de préférence clair). L'enquête cognitive confirme que 15 candidats sur 21 préfèrent effectivement que le titre soit placé en haut.

Nous pouvons remarquer enfin que lorsqu'il existe un espace « vide » entre le titre et la légende, celui-ci génère des saccades relativement amples qui ne sont ponctuées d'aucunes fixations (Cartes 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10).

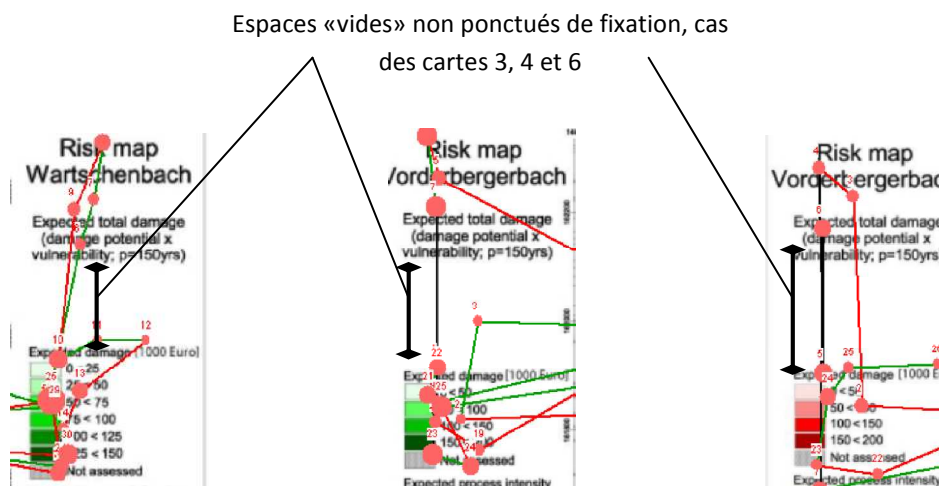


Figure 24 : Absence de fixations dans les espaces vides entre titre et légende

Réduire ces espaces vides pour les cartes 1 à 4 permettrait d'optimiser l'espace disponible. Les informations de la légende pourraient par exemple être mieux espacées, ce qui pourrait les rendre plus lisibles.

1.2. Effet de légende

La légende est fondamentale car c'est elle qui permet la compréhension de la symbolique graphique de la carte. Elle constitue la clé de lecture de l'information transmise. Les candidats ont, en moyenne, consacré entre 3 et 7 secondes sur 15 à sa lecture. Soit environ entre 20% et 47% du temps total de lecture.

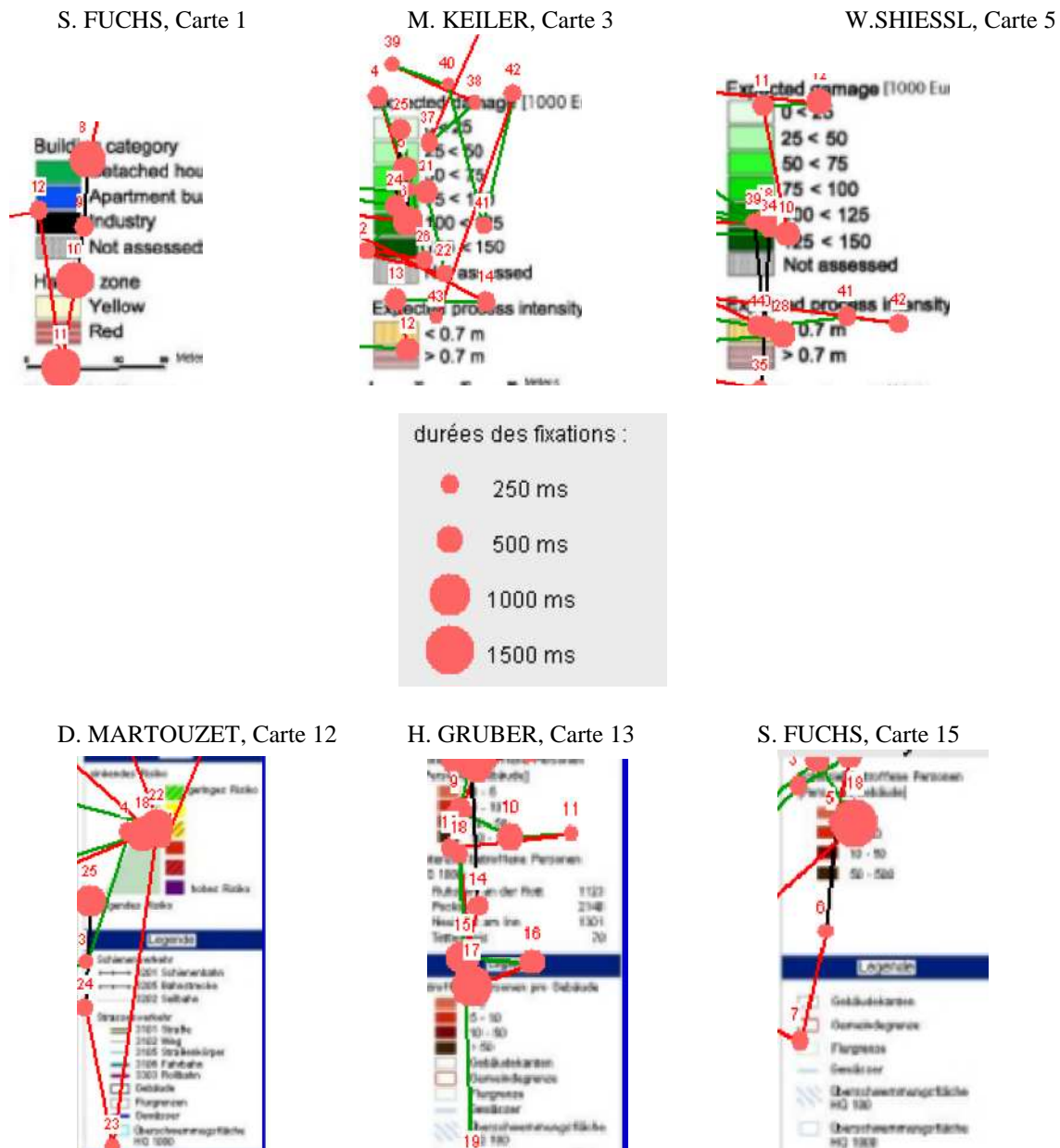


Figure 25 : Importance de la lecture de la légende

Qu'elle soit placée à droite ou à gauche de la carte, la légende attire l'œil et les saccades verticales ou quasi verticales (traits noirs) montrent assez nettement le processus de lecture verticale.

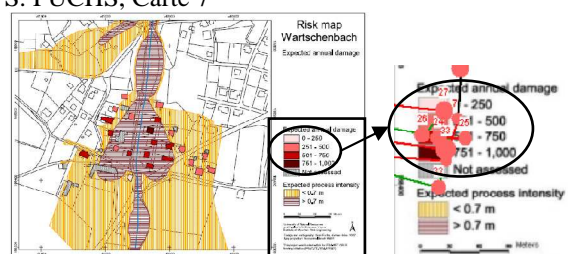
Toutefois, la légende est lue de manière différenciée selon sa composition et il est possible d'identifier deux tendances récurrentes :

- Comme le regard est attiré par les éléments les plus colorés de la carte en général, il l'est davantage par les éléments les plus colorés de la légende.
- Le degré de détail (quantité d'informations) de la légende influe sur la façon de la regarder.

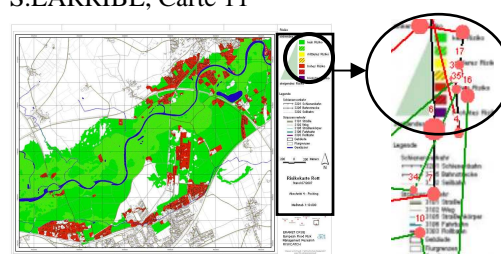
L'attention du regard est en effet attiré par les éléments les plus colorés, y compris au sein de la légende. Cette constatation apparaît clairement si l'on se réfère aux cartes 7, 11, 13 et 16 chez de nombreux ci-dessous.

□ : Surface totale de la légende ○ : Zone de concentration principale des fixations

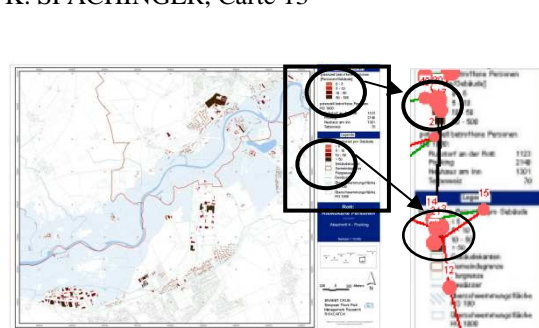
S. FUCHS, Carte 7



S.LARRIBE, Carte 11



K. SPACHINGER, Carte 13



S. FUCHS, Carte 16

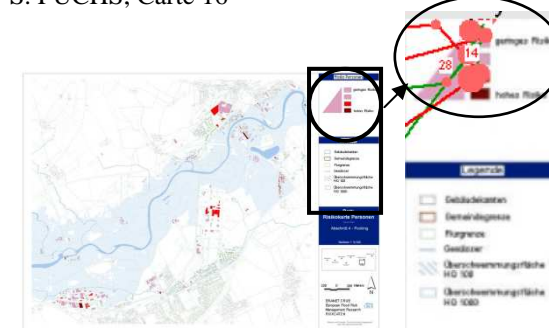


Figure 26 : Attirance du regard par des éléments colorés

Cette tendance est encore plus marquée lorsque la légende est plus « complexe » et contient un plus grand nombre d'informations. Les candidats ont alors souvent délaissé les zones de la légende les moins colorées (voir les cartes de la figure 26 ci-dessus).

Une trop grande « complexité » de la légende a par ailleurs obligé la plupart des candidats⁹² à revenir plusieurs fois sur la légende, ce qui n'a pas été nécessaire quand celle-ci était plus simple (Cf. Schéma 5 suivant).

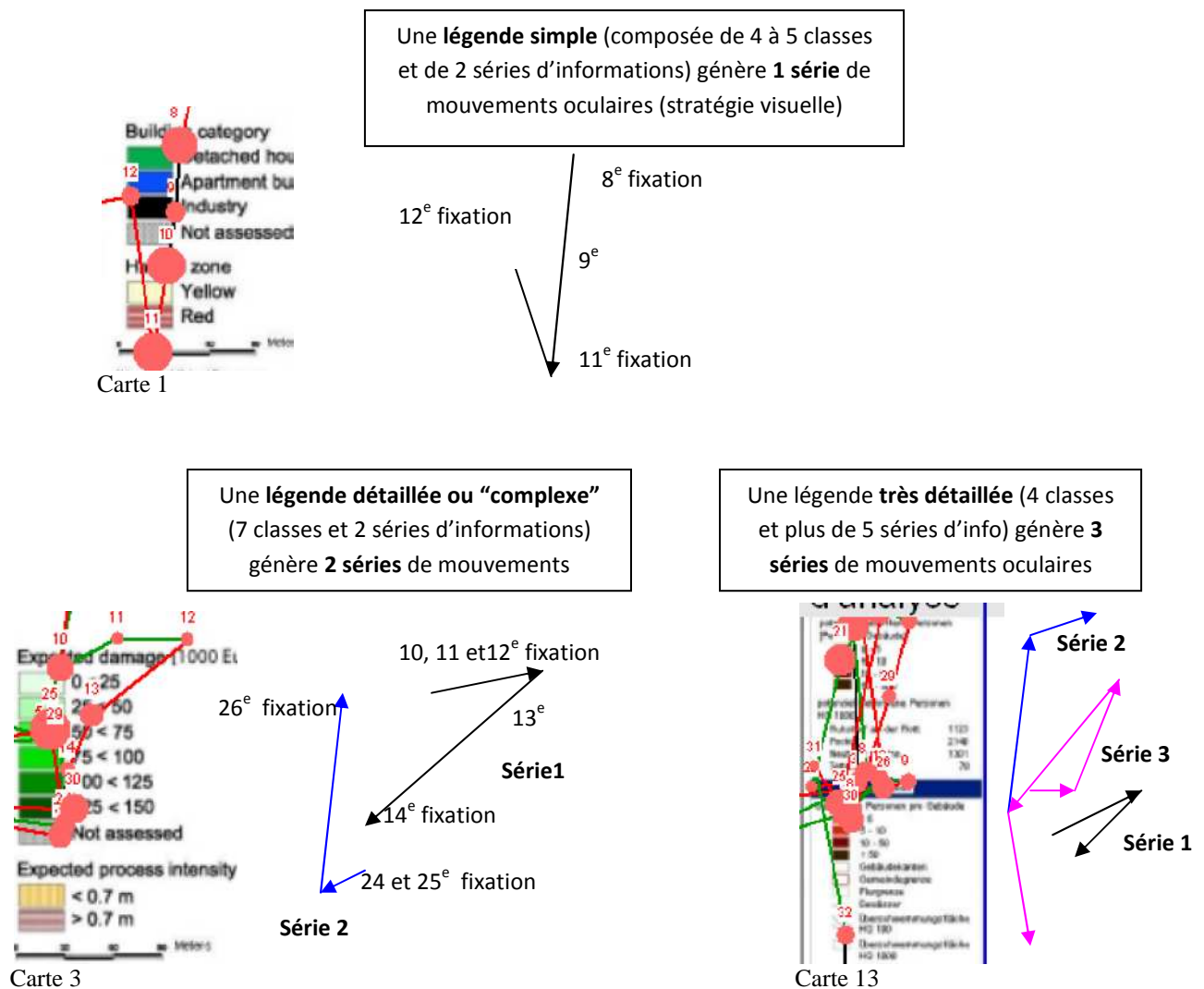


Schéma 5 : Schémas de lecture des légendes

Ainsi, l'analyse spatiale ou statique des mouvements oculaires révèle que la légende attire l'œil et que plus les informations qu'elle contient sont visibles (contraste de couleur) et accessibles (nombre limité d'informations), moins les lecteurs ont besoin d'y revenir et plus celle-ci sera efficiente en termes de transmission visuelle (rapide) de l'information.

⁹² À quelques rares exceptions près (C. Weber notamment qui ne visionne pas les légendes).

1.3. Information cartographique et fond de carte

De manière générale, c'est l'élément central de la carte qui attire le plus le regard. Les différents candidats y ont en effet consacré entre 10 (66%) et 12 (80%) secondes sur 15. Le regard se fixe aussi sur les endroits les plus colorés. C'est d'autant plus systématique que ceux-ci sont souvent les plus porteurs d'information, cela est très visible pour les cartes 13 à 17 notamment au niveau des enjeux ponctuels en rouge foncé.

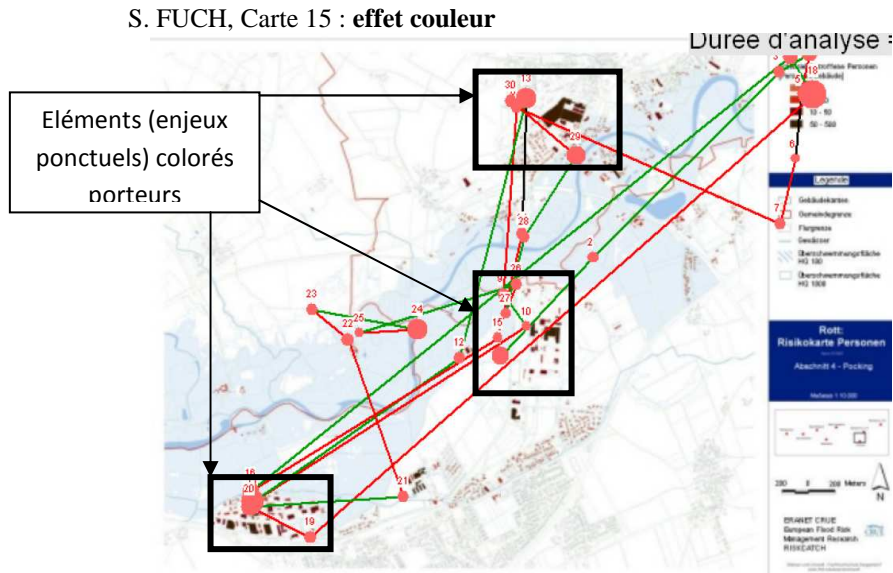


Figure 27 : Effet couleur des cartes

Sur la carte 15, l'attraction du regard vers les zones les plus colorées traduit ce que l'on peut qualifier « d'effet couleur » (K. Serrhini, 2000 et 2005).

D'autre part, plus l'information se distingue visuellement, notamment par le contraste généré par la superposition de différentes couleurs et du fond de carte, plus les fixations sont centrées sur cette information. Ceci est illustré par la carte 7 ci-dessous.

Concentration des fixations sur
le centre de la carte et les
points les plus porteurs

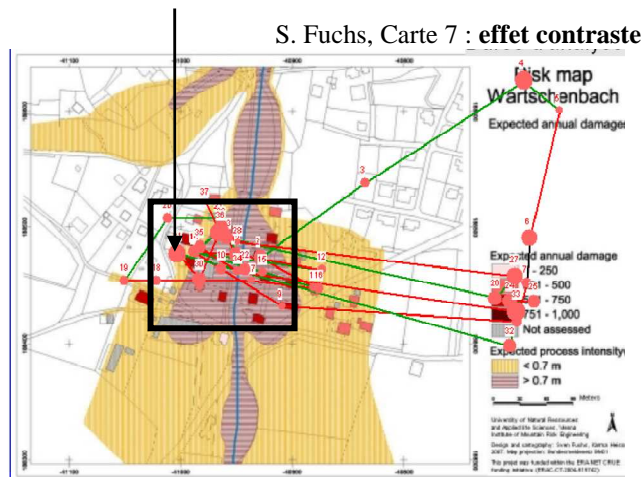
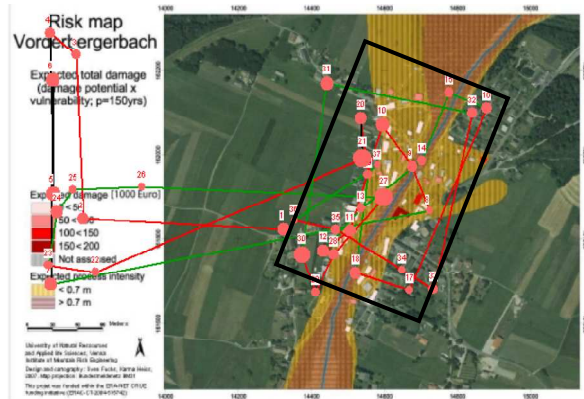


Figure 28 : Effet contraste des cartes

Sur la carte 7 de la figure 28, l'attraction du regard vers les zones de fort contraste, traduit ce que l'on peut qualifier « d'effet contraste ».

A l'inverse, moins l'information est contrastée par rapport au fond de carte, plus les fixations ont tendance à être plus dispersées. Les cartes 6 et 9 (notamment) dont le fond est assez foncé illustrent bien cette tendance. Les stratégies visuelles des sujets semblent désordonnées, elles ne suivent plus l'axe ou la forme de l'élément central de la carte.

S. Fuchs, Carte 6



S. Fuchs, Carte 9

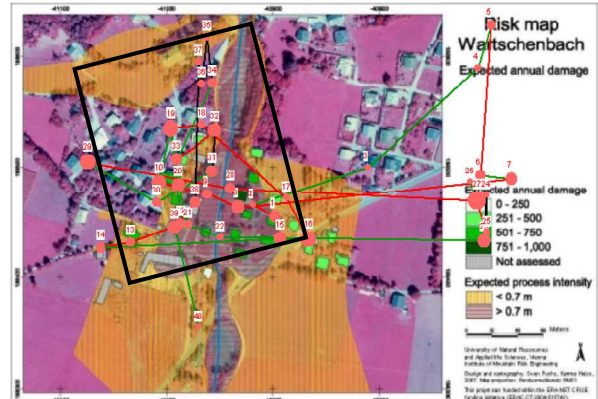


Figure 29 : Influence du contraste entre fond de carte et information contenue

Il est donc préférable que l'information la plus significative d'un point de vue visuel contraste davantage par rapport aux informations secondaires (et notamment le fond de carte). Celle-ci doit en effet être identifiable au premier coup d'œil par le lecteur.

Nous avons donc vu au cours de la précédente analyse statique des mouvements oculaires que le regard d'un lecteur donné réagissait de manière différente d'une carte à l'autre selon la sémiologie graphique, la position des éléments constitutifs de la carte... La carte (sa composition et les choix en matière de sémiologie graphique) influence la stratégie visuelle du lecteur. La perception d'une carte est donc bien iconographique.

2 - Analyse spatiale des mouvements oculaires par groupe de sujets

Les résultats précédemment exposés étaient vrais pour une très nette majorité de sujets testés. Toutefois, ils ne correspondaient jamais à 100% des cas.

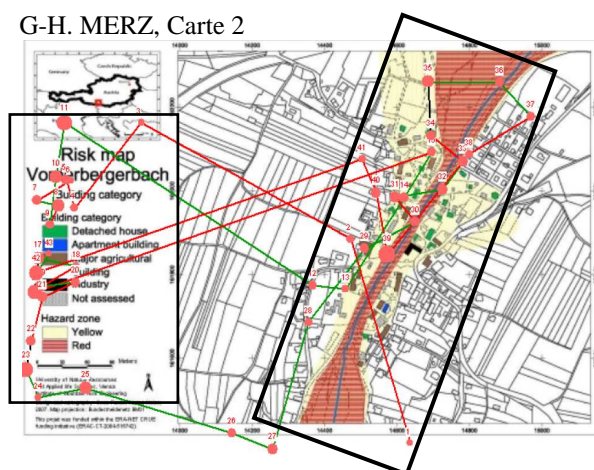
En effet, chacun des trois échantillons (spécialistes, initiés, témoins) et même chaque individu, en fonction de sa culture, ses habitudes visuelles et sa maîtrise ou non de la cartographie, développe des stratégies visuelles propres.

Nous allons donc revenir sur certaines des « particularités » de nos échantillons et de certains de nos sujets.

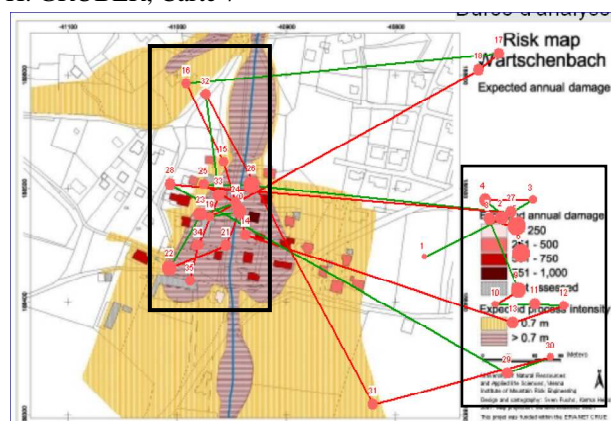
Face aux cartes, les spécialistes de la cartographie lisent systématiquement le titre et la légende et ont tendance à regarder aussi attentivement la légende que la carte. Cette tendance, illustrée par les schémas réalisés à partir des résultats des cartes 2, 7 et 11 respectivement pour G. Merz, K. Spachinger et H. Gruber est valable pour tous les spécialistes.

Espace couvert par le regard

G-H. MERZ, Carte 2



H. GRUBER, Carte 7



K. SPACHINGER, Carte 11

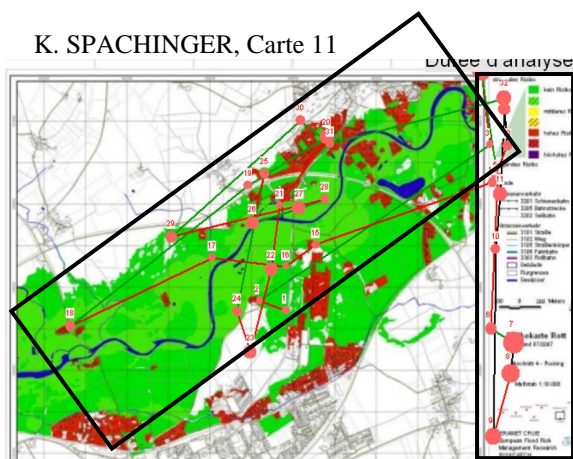


Figure 30 : Visualisation équilibrée de la légende et de la carte par les spécialistes

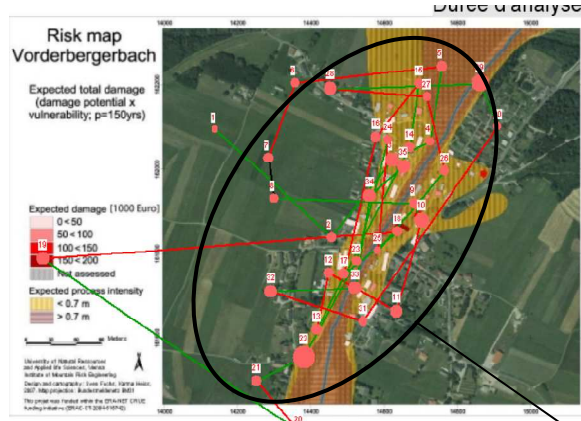
Cependant, parmi les spécialistes, l'un d'entre eux ne porte ni attention au titre ni à la légende à partir de la septième carte. Il s'agit de Christian Weber (dont nous reparlerons).

Le cas de Christian WEBER est une exception, il est en effet bien particulier. On constate en effet que le sujet n'a consacré qu'environ 4 secondes pour la lecture de la légende des 17 cartes et qu'il a même totalement cessé de regarder la légende à partir de la carte 6. Interrogé

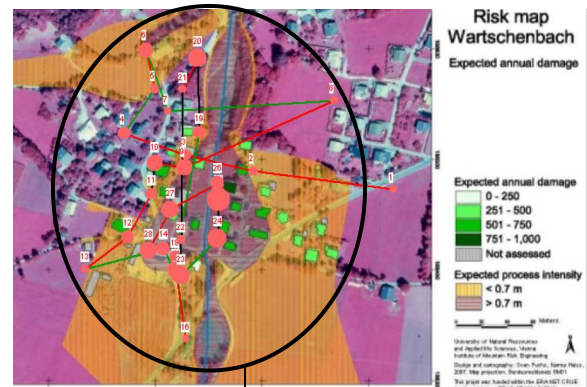
sur la particularité de sa stratégie de lecture, celui-ci a expliqué qu'il travaille directement sur les risques de crues des zones cartographiées.

Le niveau d'expertise et la connaissance du terrain cartographié de ce sujet le dispensent donc de lire la légende. En revanche, C. Weber a exploré visuellement les cartes de façon approfondie. Si l'on se réfère aux exemples des cartes 6, 9 et 14 ci-dessous, on constate en effet que C. Weber couvre pratiquement toute la surface de la carte du regard.

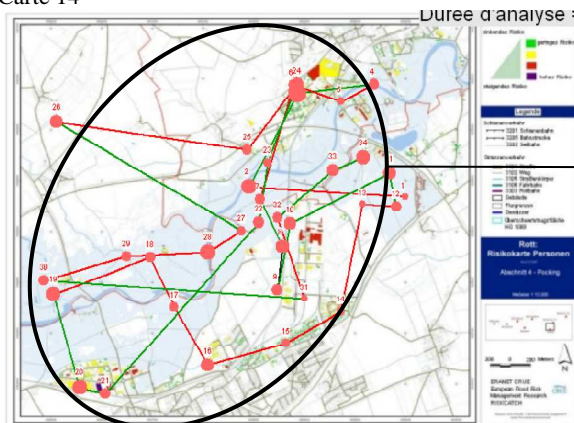
Carte 6



Carte 9



Carte 14



Espaces couverts du regard

Figure 31 : Cas exceptionnel de C. Weber

Les spécialistes réalisent donc une lecture « complète » de la carte dans la mesure où ils ont besoin de toute l'information qui y est contenue.

Le groupe des initiés est quelque peu hétérogène, toutefois il est possible d'identifier une stratégie de lecture commune à certains d'entre eux.

Souvent habitués à la lecture des cartes, ils portent une attention accrue à la lecture de la légende, pour laquelle ils consacrent plus de la moitié de leur temps de fixation total.

[illegible]

W. SHIESSL, Carte 6 (correspondance avec différents éléments informatifs de la légende, confirmée par la direction des saccades)



Figure 33 : Identification des éléments de la carte grâce à la légende

Nous pouvons voir en effet que les éléments ponctuels regardés correspondent chacun à un élément différent de la légende et que dans certains cas, la lecture s'arrête après avoir identifié ces différents éléments.

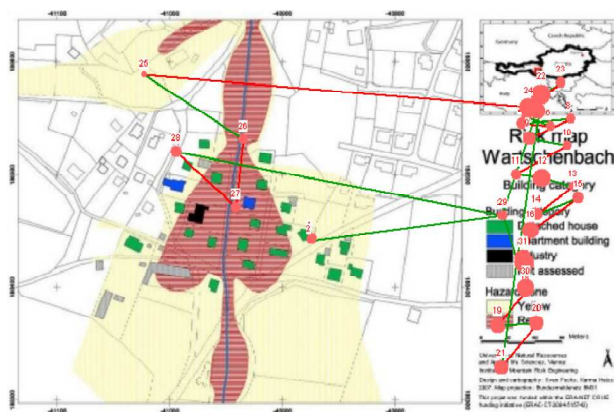
On peut donc parler d'une lecture méthodique et synthétique de la carte dans la mesure où ils fixent au moins un élément correspondant à chaque information contenue dans la légende mais parfois pas davantage. Ceci est particulièrement net pour les cartes 4 et 6 chez W. ShieSSL, 3 et 17 chez H. Baptiste.

Les initiés ont donc, le plus souvent une lecture méthodique et synthétique de la carte qui leur permet d'en comprendre l'organisation et l'information essentielle.

Pour les témoins, nous pouvons repérer deux principaux types de comportement visuel :

- Soit le sujet témoin consacre un nombre important de fixations d'une durée relativement élevée à lire la légende et n'a que peu de temps à consacrer à l'élément central de la carte (Cf. Résultats des cartes 1 et 3 de B. Burel),

B. BUREL, Carte 1 (seulement 5 fixations sur l'élément central de la carte)



B. BUREL, Carte 3 (seulement 4 fixations sur l'élément central de la carte)

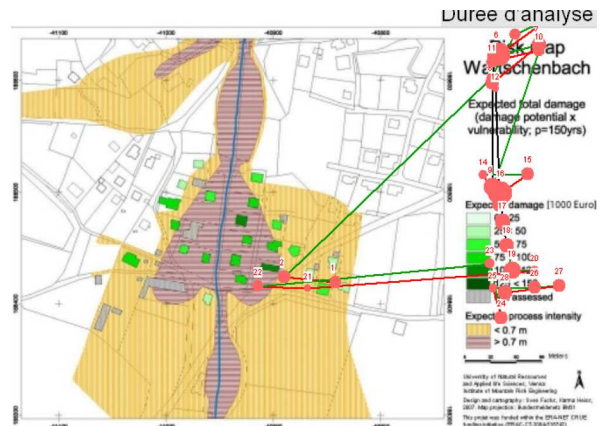
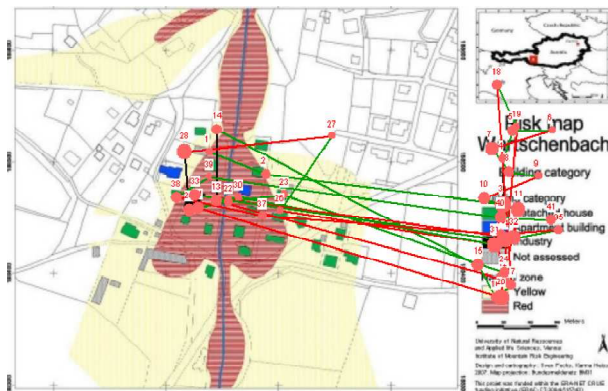


Figure 34 : Un premier type de comportement visuel des témoins

- Soit ils multiplient les fixations courtes et les saccades pour pouvoir appréhender un maximum d'informations graphiques, comme en témoignent les résultats de J. Ducrocq et de M. Panzirsch pour la carte 3.

J. Ducrocq, Carte 3



M. Panzirsch, Carte 3

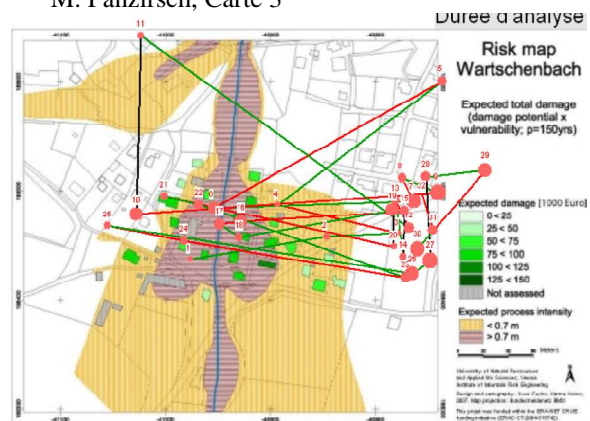


Figure 35 : Un deuxième type de comportement visuel des témoins

Mais au fil du temps et à mesure des cartes, le phénomène d'accoutumance aux informations projetées, conduit à une relative homogénéisation du comportement visuel du premier type vers le second.

Ce phénomène est notamment observable au niveau des résultats de B. Burel. En effet, dès la carte 4 de la figure 36 (ci-dessous), on constate qu'elle couvre visuellement une plus grande partie de la carte.

B. BUREL, Carte 4 (répartition plus équilibrée des fixations entre l'élément central de la carte et la légende)

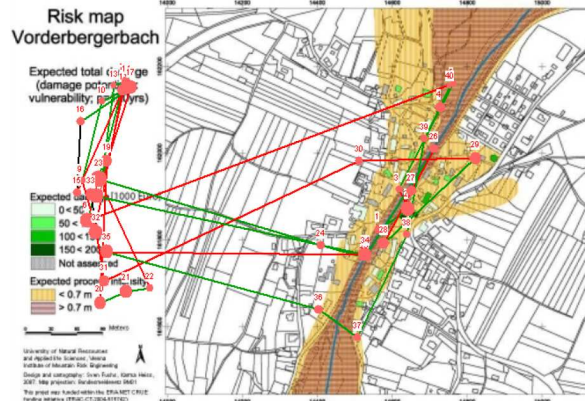


Figure 36 : Répartition plus équilibrée des fixations entre l'élément central de la carte et la légende

Plus « surpris » par le document graphique que les spécialistes ou les initiés, il semble donc que les témoins mettent plus de temps pour identifier l'information contenue dans le document cartographique. L'effort visuel déployé se traduit respectivement par une focalisation sur la légende et une exploration visuelle intense, multipliant le nombre de saccades et de fixations.

On observe ensuite un phénomène d'accoutumance (ou d'apprentissage visuel) : de la carte 1 à la carte 17, le nombre de fixations respectivement consacré à la légende et à l'élément central de la carte tend vers un certain équilibre.

Enfin, l'analyse différenciée des résultats obtenus pour les trois groupes de candidats a mis en évidence des comportements spécifiques par groupe et parfois selon les individus (cas de C. Weber). Il apparaît donc clairement que les caractéristiques particulières des individus, influent sur leur manière de lire les cartes. La perception des cartes est donc bien anthropique.

En résumé l'analyse spatiale nous a permis de mettre en évidence certains aspects pouvant s'avérer éclairant pour l'élaboration de cartes efficaces :

- Les informations écrites et les zones colorées concentrent plus de 90% des fixations.
- La légende attire l'œil par effet de texte et de concentration informative et, plus les informations qu'elle contient sont visibles (contraste de couleur) et accessibles (nombre limité d'informations), moins les lecteurs ont besoin d'y revenir.
- La localisation des différentes composantes informatives influence la perception du lecteur. On a notamment mis en évidence que :
 - Le titre remplit mieux sa fonction informative lorsqu'il est placé dans la partie supérieure de la légende et quand il est mis en valeur par un meilleur jeu de contraste.
 - Une meilleure répartition des espaces vides entre le titre et la légende, comme pour les cartes 1 à 4, en vue d'une meilleure lisibilité.

- L'élément central de la carte attire le regard par effet de couleur. Le regard est en effet plus particulièrement attiré par les zones où la couleur est la plus marquée et le contraste le plus significatif (entre fond et information).

Il est donc préférable que l'information la plus significative d'un point de vue visuel contraste fortement avec les informations secondaires (et notamment avec le fond de la carte). Celle-ci doit en effet être identifiable au premier coup d'œil par le lecteur.

Enfin, nous avons pu constater d'une part que le regard d'un même lecteur réagissait de manière différente d'une carte à l'autre en fonction de sa composition et des choix en matière de sémiologie graphique et, d'autre part, qu'une même carte génère des stratégies visuelles variées chez différents sujets en fonction des habitudes de lecture, des compétences, des cultures... de ces sujets. La perception est iconographique (influence de la carte sur la perception du sujet) et anthropique (influence du sujet sur la perception de la carte).

L'analyse des résultats dynamiques (statistique et vidéo) va nous permettre de confirmer ces conclusions, qui seront ensuite éclairées par l'analyse des réponses formulées par les candidats à l'enquête cognitive.

C-Analyse dynamique

Parmi les éléments les plus attractifs que nous avons identifiés (le titre, le contraste...), quel a été leur ordre d'accès visuel durant l'exposition des diapositives ? En d'autres termes, cette analyse a pour objectif de déterminer les éléments qui ont été regardés successivement (à titre d'exemple : d'abord le titre ensuite les poncifs de fort contraste...).

L'analyse dynamique exprime, par carte, les tendances enregistrées pour l'ensemble des 21 candidats. Elle permettra donc de confirmer les observations générales réalisées sur les stratégies du regard.

Les cartes ont été coupées en 9 tranches temporelles, chacune ayant la même durée.

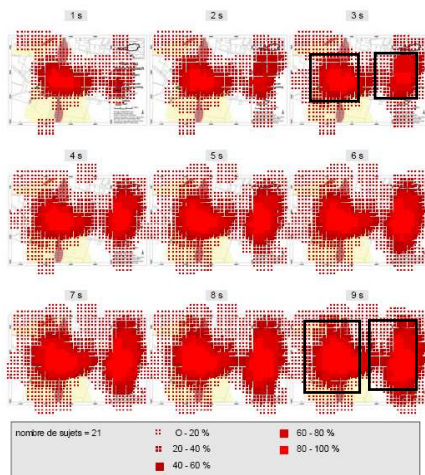
1 - L'élément principal de la carte et la légende

La figure 37 montre le pourcentage de sujets qui ont regardé un élément donné de la carte. La perception commence au centre de la carte (des tâches rouges foncées au centre correspondant à 80-90% des sujets). Progressivement et à partir de la troisième seconde, une deuxième tâche de même importance (en intensité de couleur et en taille) apparaît du côté droit de l'image (emplacement de la légende). Puis après 4 secondes, l'enregistrement montre deux importantes zones rouges (80-100%) qui s'étendent de manière distincte l'une de l'autre. La tâche centrale se déploie concentriquement autour de l'élément central et la tâche sur le côté droit de l'image s'étend verticalement.

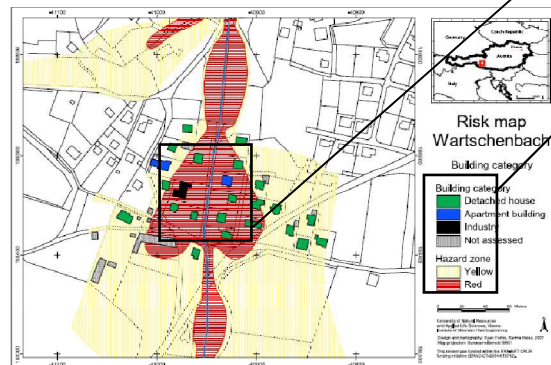
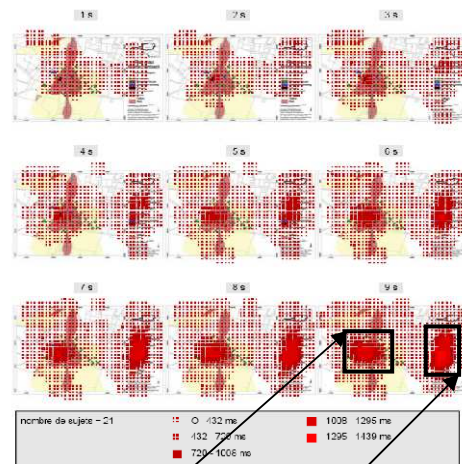
Si l'on s'intéresse maintenant à l'analyse dynamique de cette même carte mais en millisecondes, nous nous apercevons que jusqu'aux cinq premières secondes les sujets consacrent presque autant de temps à la partie centrale qu'à la partie droite. Au bout de la 9^e seconde, le temps passé à visualiser la partie droite semble plus important que celui passé à regarder la partie centrale. En effet, le regard a passé entre 1295 ms et 1439 ms sur les zones

les plus observées du côté droit de l'image alors qu'il n'a passé qu'entre 1008 et 1295 ms sur celles de l'élément central.

Carte 1, Analyse dynamique en % de sujets



Carte 1, Analyse dynamique en milli secondes



Rappelons ici la Carte 1 correspondant aux résultats dynamiques ci-dessus

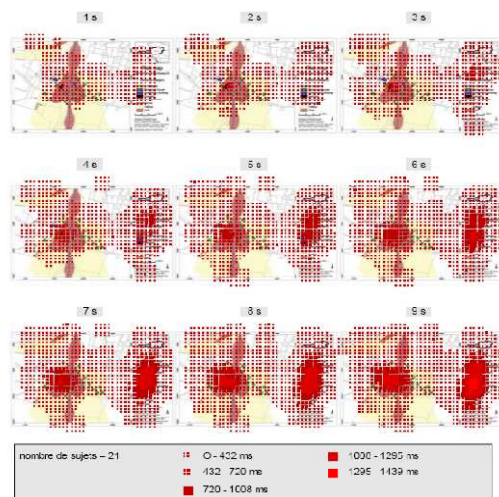
Figure 37 : Analyse dynamique de la carte 1

Ainsi l'attirance du regard pour les deux principaux éléments, la carte et la légende, est sans ambiguïté.

Ces mêmes constats ont pu être faits sur la carte 2 avec cette fois-ci une tâche centrale de forme différente, épousant l'élément central orienté en diagonale.

Sur d'autres cartes (carte 3 et 4 par exemple), les mêmes observations sont faites, à la différence que l'analyse dynamique en millisecondes révèle à partir de la quatrième seconde trois tâches distinctes : une au centre de la carte, et deux du même côté (une dans la partie supérieure correspondant à l'emplacement du titre et l'autre dans la partie inférieure correspondant à l'emplacement de la légende). La différence majeure entre la carte 1 et la carte 3 d'un point de vue de leur organisation est l'espace vide entre le titre et la légende pour la carte 3, à l'origine de l'apparition de cette troisième tâche.

Carte 1, Analyse dynamique en milli secondes



Carte 3, Analyse dynamique en milli secondes

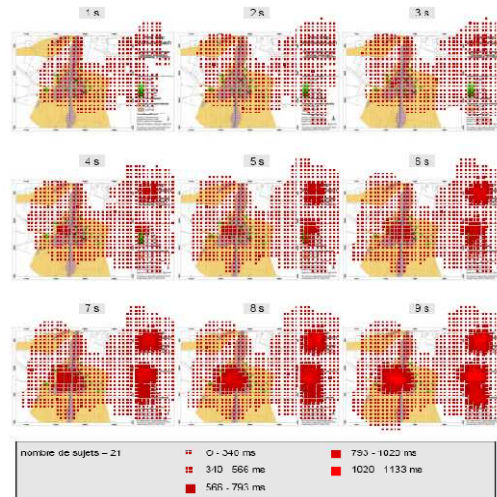
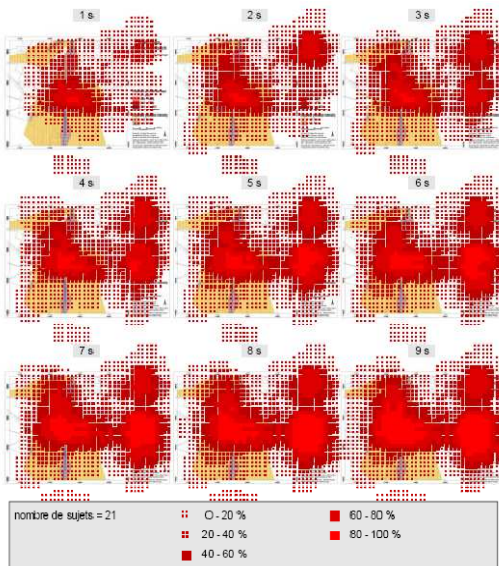


Figure 38 : Rôle attractif du titre

La carte 7 quant à elle diffère des cartes 1 et 3 par son titre moins important et qui laisse donc un espace vide entre le titre et la légende encore plus grand. Nous pouvons observer alors qu'au bout de 9 secondes le temps consacré à la lecture du titre a été très infime (seulement 0 à 512 ms) par rapport à la carte 3 par exemple.

Carte 7, Analyse dynamique en %



Carte 7, Analyse dynamique en milli secondes

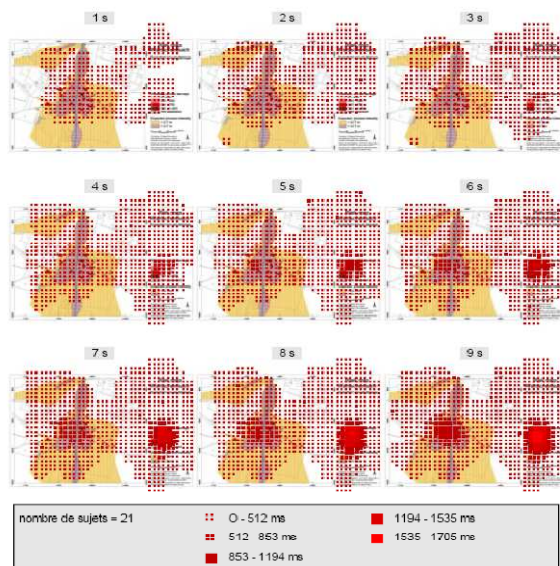


Figure 39 : Comparaison de cartes avec ou sans espace vide entre titre et légende

Nous pouvons donc constater également dans cette analyse dynamique le rôle attractif du titre. C'est particulièrement visible pour les cartes où celui-ci est relativement éloigné de la légende (cartes 3 et 4 ci-dessus).

Par ailleurs, le logiciel qui pilote l'ensemble du système photo-oculographe, permet d'une manière interactive de créer une ou plusieurs zones de plus ou moins grande taille de la diapositive (de la carte), puis de demander les résultats statistiques relatifs aux zones présélectionnées : analyse sectorielle (ou zones d'intérêts). Cette opération a été réalisée ci-dessous toujours pour la carte 1 chez le sujet K. Spachinger. L'analyse sectorielle est complémentaire à l'analyse dynamique de la page précédente.

K. SPACHINGER, Carte 1 (où le secteur 1 : l'élément central de la carte, le secteur 2 : une partie de la légende et le secteur 0 : le reste de la carte)

Résultats de l'analyse sectorielle pour les fixations

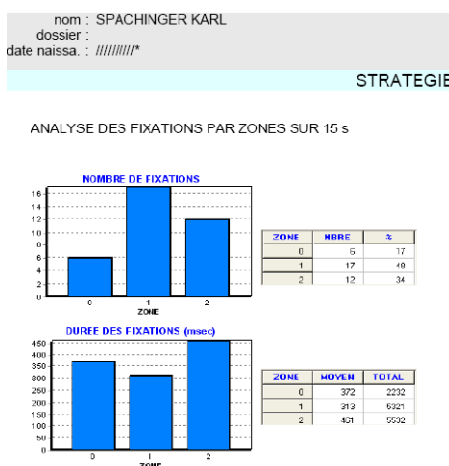
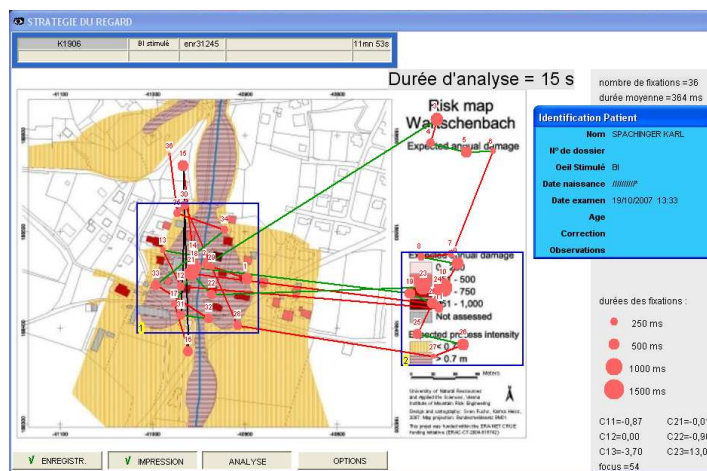


Figure 40 : Résultats de l'analyse sectorielle de la carte 1 pour le sujet K. Spachinger

Le tableau ci-dessous est la synthèse des résultats relatifs des fixations obtenues pour les deux secteurs 1 et 2 chez K. SPACHINGER :

	Nb fixations	Durée moyenne d'une fixation	Durée totale des fixations (ms)
Secteur 1	17	313	5 321
Secteur 2	12	461	5 532
Total			10 853 (ms)
%			72 %

Tableau 11 : Synthèse des résultats obtenus par l'analyse sectorielle

Le tableau 11 ci-dessus montre que les deux secteurs (1 et 2), outre le fait qu'ils sont observés par la majorité des candidats (Cf. Analyse dynamique ci-dessus), retiennent 72 % du temps total (qui est de 15 secondes) chez K. Spachinger. Ceci est considérable si l'on remarque que les deux secteurs (1 et 2) représentent moins de 25 % de la surface totale de la carte.

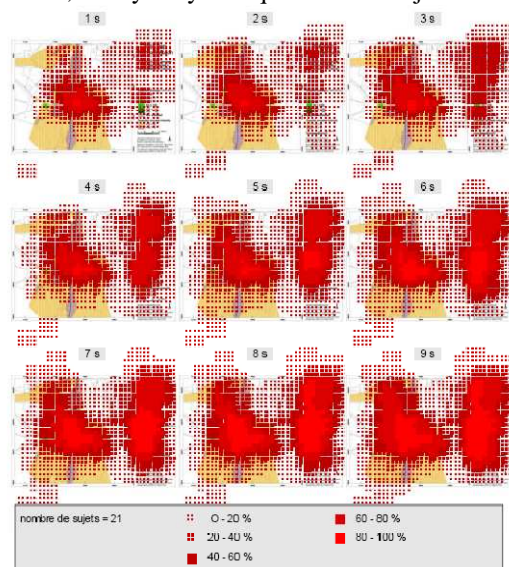
En conclusion, pour le sujet K. Spachinger, moins de 25 % de la surface totale de la carte 1 monopolise à elle seule une durée totale d'exploration visuelle (en termes de fixations seulement) de presque 11 secondes. Les secteurs 1 et 2 de la carte 1 constituent donc des éléments très attractifs.

3 - Arrière plan et effet contraste

Un autre élément, déjà mis en évidence lors de l'analyse spatiale est à relever : le regard ne se positionne et ne se concentre pas de la même façon selon la nature du fond de carte.

Le regard est en effet plus dispersé lorsque le fond de carte est foncé (cartes 5, 6, 9 et 10) que lorsqu'il est clair (cartes 1, 2, 3, 7,8).

Carte 3, Analyse dynamique en % de sujets



Carte 5, Analyse dynamique en % de sujets

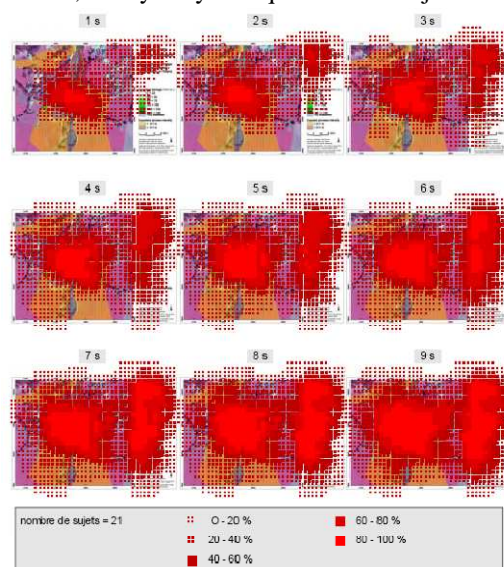


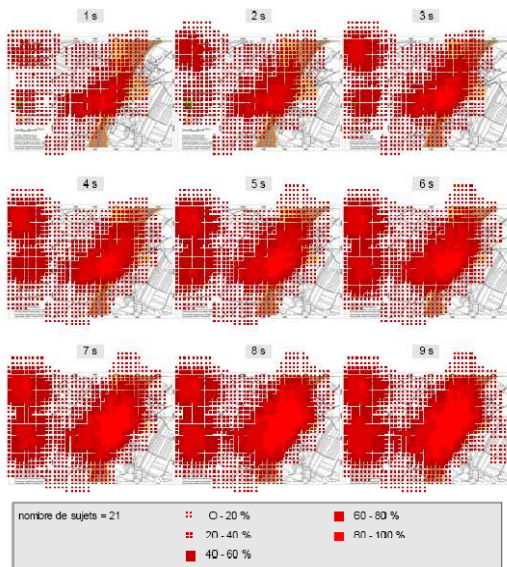
Figure 41 : Dispersion du regard avec un fond de carte foncé

La figure 41 montre bien que, pour deux mêmes cartes avec seulement le fond de carte qui change, les tâches observées sont plus diffuses et étalées pour un arrière plan en orthophotographie IR qu'un fond cadastral blanc.

Ainsi, au bout de la 9^e seconde, pour les cartes dont le fond est sombre et avec peu de contraste visuel entre les différents éléments, pratiquement toute la carte est couverte du regard, ce qui se traduisait dans l'analyse statistique par un nombre élevé de fixations (de courtes durées).

Lorsque le contraste entre l'élément central de la carte et l'arrière plan est plus net, les fixations sont moins dispersées comme on peut le constater sur la carte 6 de la figure 42 (comparaison des cartes 4 et 6).

Carte 4, Analyse dynamique en % de sujets



Carte 6, Analyse dynamique en % de sujets

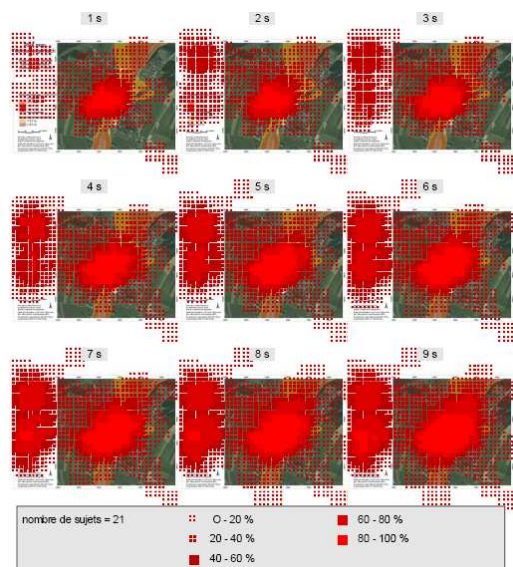


Figure 42 : Dispersion du regard moins prononcée pour un arrière plan aérien

Une analyse complémentaire peut appuyer les conclusions établies. Elle consiste à définir des zones d'intérêt sur la carte et d'observer à l'aide du logiciel les répartitions des fixations sur ces zones. Nous avons défini, pour les cartes 4 et 6, quatre zones d'intérêt identiques: la zone 1 correspond à une partie centrale de la carte où se trouve l'information principale, la zone 2 qui inclut la légende et l'échelle, la zone 3 qui comprend le titre et la zone 0 correspondant au reste de la carte ne faisant pas partie des trois autres zones d'intérêt.

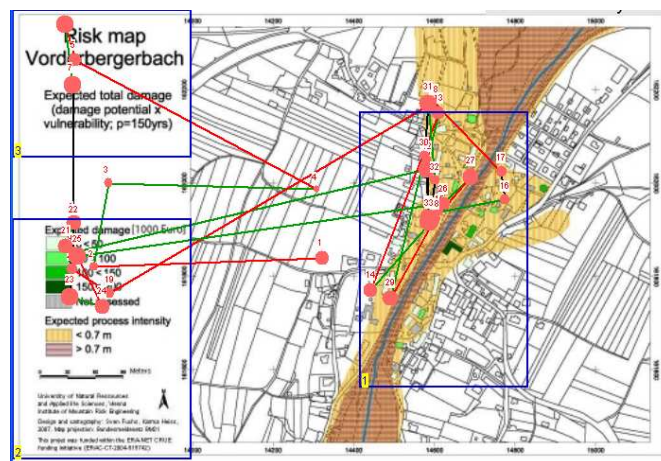


Figure 43 : Délimitation de zones d'intérêt sur la carte 4

La figure 44 met alors en évidence que tous les groupes consacrent plus de fixations dans la zone 0 de la carte 9 que celle de la carte 7. Cela est fortement visible chez les initiés (19% de leurs fixations pour la carte 7 étaient localisées dans la zone 0 alors que 27% pour la carte 9). Alors que sur la carte 7, moins de 70% des fixations des groupes étaient pour les

zones 0 et 1, plus de 70% y sont consacrées pour la carte 9. Les différents groupes concentrent moins leur regard sur le titre mais surtout moins sur la légende.

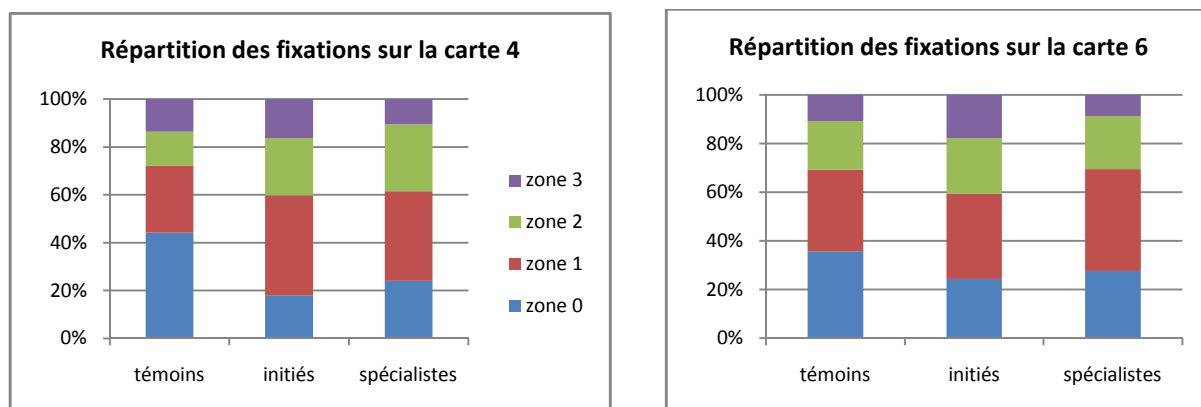


Figure 44 : Répartition des fixations sur les zones d'intérêt des cartes 4 et 6

La constatation est identique si l'on compare la répartition des fixations sur les cartes 4 et 6, avec cependant des différences moins prononcées que précédemment.

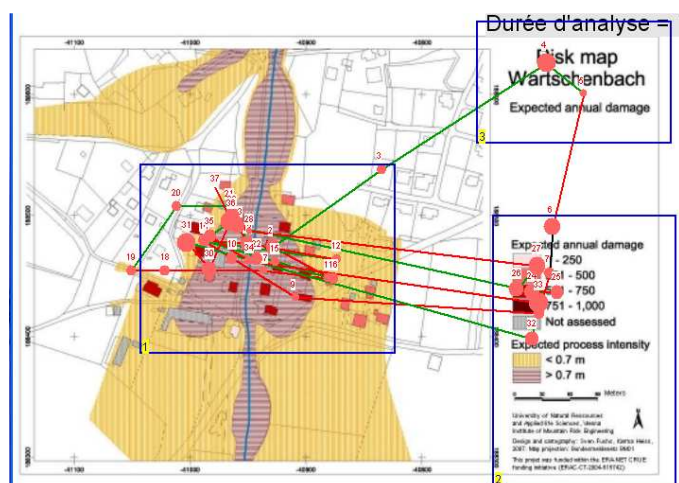


Figure 45 : Délimitation de zones d'intérêt sur la carte 7

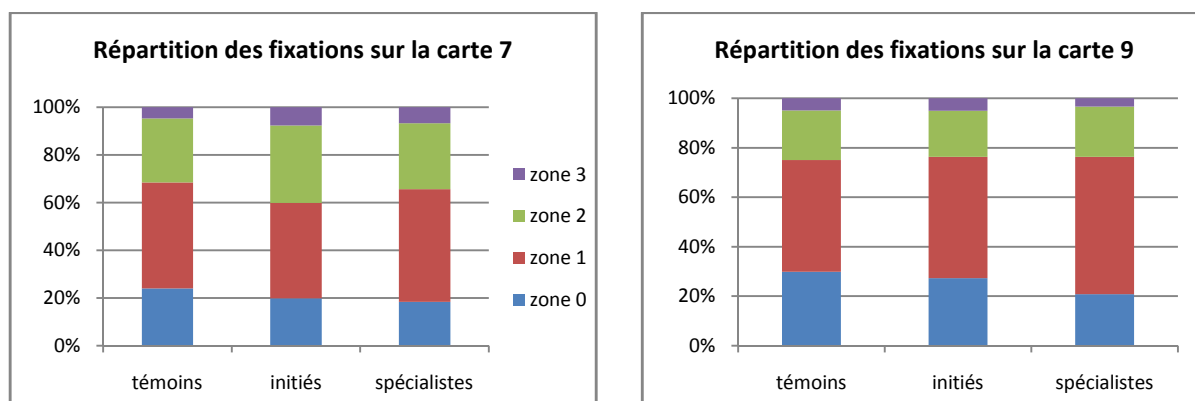


Figure 46 : Répartition des fixations sur les zones d'intérêt des cartes 7 et 9

Sur les cartes 13 à 17, les fixations sont plus étalées le long de l'axe de la rivière avec tout de même une concentration plus importante sur les éléments les plus contrastés (exemple de la carte 17 ci-dessous, ellipses noire pour la dispersion générale et bleue pour les points de concentration visuelle plus forte).

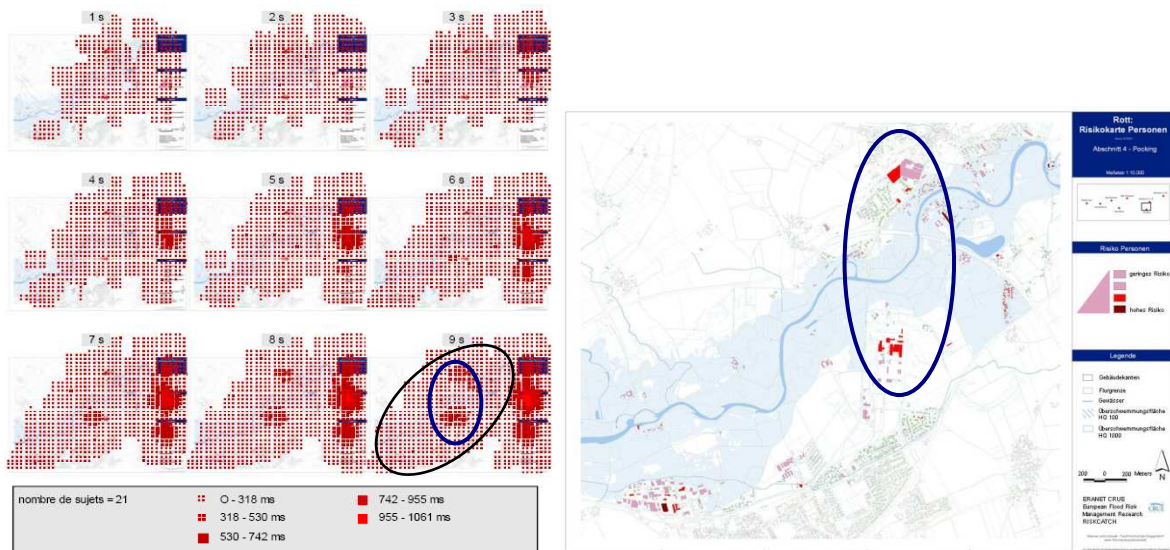


Figure 47 : Concentration des fixations sur les éléments contrastés de la carte 13

En effet, lorsque le fond est très clair et que les différents éléments visuels sont peu contrastés, les fixations se concentrent sur les éléments informatifs qui se détachent visuellement mais restent assez épars (cartes 13 à 17).

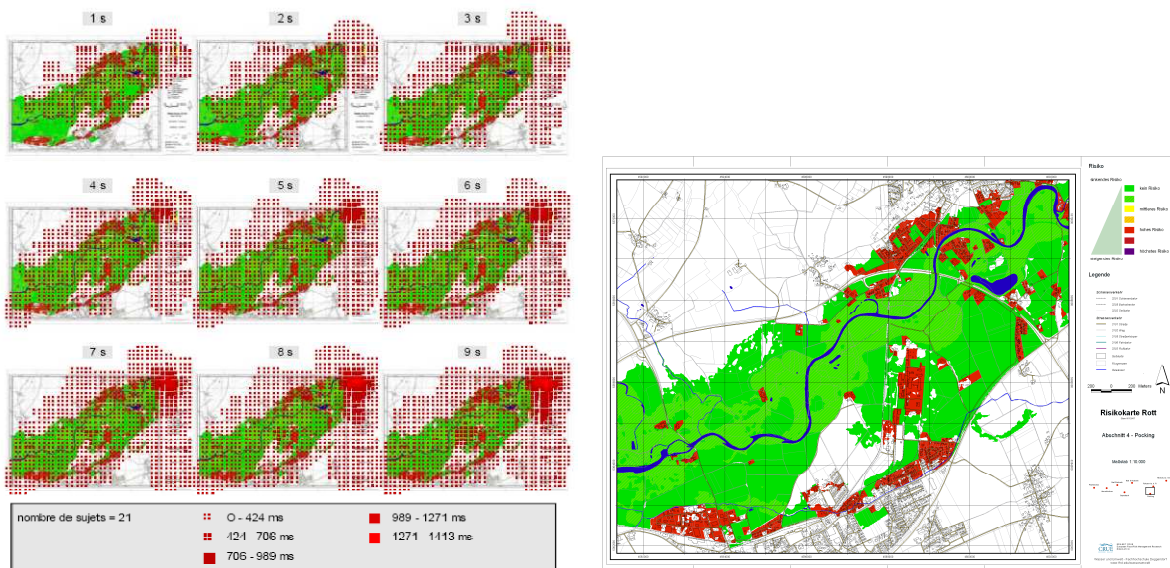


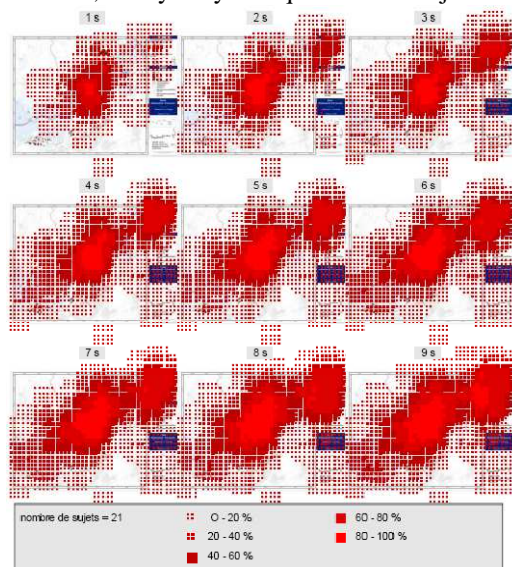
Figure 48 : Importance du cartouche de couleur de la carte 11

La légende comme nous l'avons vu est un élément qui attire l'œil. Cependant elle peut accaparer une grande partie du temps lors de la recherche visuelle. La figure 48 montre bien qu'une grande partie du temps a été consacrée à l'observation du cartouche de couleur de la légende (entre 1271 et 1413 ms).

Un titre blanc sur fond bleu et encadré ne semble pas attirer le regard et ceci d'autant plus s'il est placé dans la partie inférieure de la carte (carte 13, 14 et 15).

Le choix des couleurs dans le cartouche de la légende semblent également influencer le regard. En effet, au bout de 9 secondes sur la carte 14, une tâche supplémentaire dans le coin inférieur gauche de l'image (correspondant à un élément de la carte de couleur jaune) semble se distinguer alors que cela était moins le cas pour la carte 13 (cet élément était représenté dans des teintes rouges, bordeaux presque noires).

Carte 13, Analyse dynamique en % de sujets



Carte 14, Analyse dynamique en % de sujets

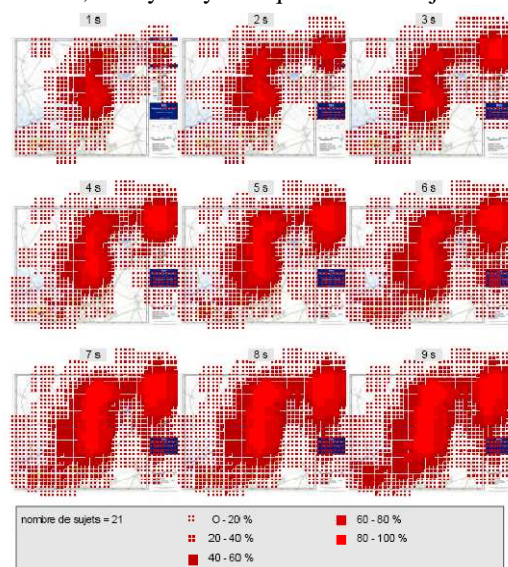


Figure 49 : Influence des couleurs dans le processus de fixation

Sur la carte 15, la légende a été allégée par rapport à la carte 13, on ne retrouve plus qu'un cartouche de couleur et non deux comme précédemment.

Carte 15, Analyse dynamique en % de sujets

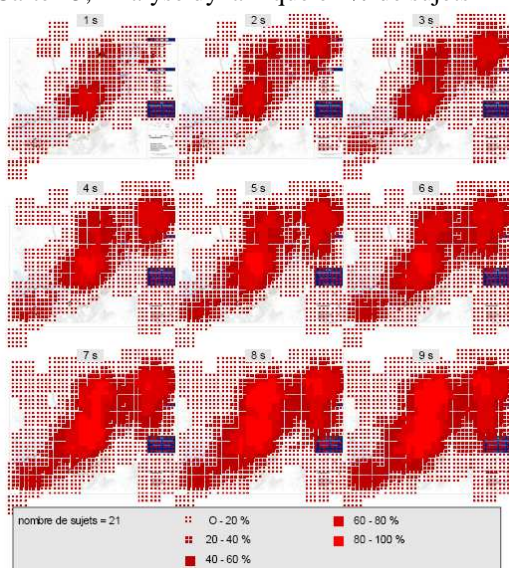


Figure 50 : Influence de l'allègement du cartouche de couleur sur les fixations

Les mêmes tâches que celles de la carte 13 apparaissent. Mais après 9 secondes, nous observons le développement d'une nouvelle tâche rouge (40-60%) et de l'accentuation d'une autre (80-100%), correspondant d'une part à un élément situé dans le coin inférieur gauche de la carte et d'autre part à un élément attractif dans le coin supérieur droit de la carte proprement dite.

4 - Ordre des éléments regardés⁹³

Les bandes vidéo permettent de préciser les constats précédents. Le regard se concentre sur la carte, la légende et le titre et observe ces éléments toujours à peu près dans le même ordre (Cf. Schéma 6 suivant).

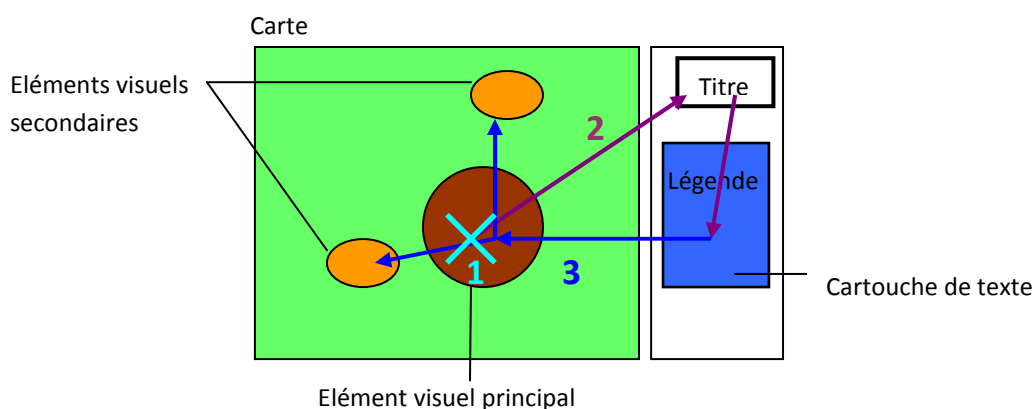


Schéma 6 : Ordre des éléments regardés sur une carte

Le regard démarre au centre de la carte (1 en cyan), ce qui est en parti lié à la position immobile de la tête dans l'appareillage, et s'y attarde parfois le temps d'une à trois fixations. Ensuite, le regard se dirige en haut du cartouche de texte et lit successivement le titre (pour peu qu'il soit placé en haut) et la légende sur laquelle il s'attarde (2 en violet). Enfin, le regard se reporte sur la carte où il se focalise sur l'élément visuel principal pour, ensuite se porter sur les éléments visuels secondaires (3 en bleu).

Ce schéma général correspond à la très nette majorité des candidats. Toutefois, sur la plupart des cartes (en fonction de la densité d'information et de la complexité la légende), ce schéma est plus complexe. Le regard réalise en effet une deuxième voire une troisième série de mouvements visuels.

L'enquête cognitive précise justement les difficultés rencontrées par les candidats sur les 17 cartes et spécifie leurs préférences en matière de sémiologie graphique.

⁹³ Rapport ERA-Net CRUE, *op.cit.*, p.53.

D-Préférences des sujets en matière de sémiologie

Si comme nous venons de le montrer chaque type de public possède des attentes spécifiques, il est tout de même possible d'identifier certaines régularités en matière de préférences sémiologiques.

Ainsi, le tableau 12 suivant, qui résume les préférences de 21 sujets testés, permet en effet de fournir des réponses claires aux différentes questions posées dans la 3^e et dernière partie de l'enquête.

Sujets	Légende		Position titre		Nb classes		Couleur		Échelle		Arrière plan		
	Droite	Gauche	Haut	Bas	5	7	Vert	Rouge	1/2500	1/5000	1	2	3
S. Fuchs	1		1		1		1		1		1		
M. Keiler	1		1		1			1		1		1	
C. Weber		1	1		1			1	1				
E. Weber	1		1		1			1	1				1
H. Gruber	1			1	1			1	1			1	
M. Stanzer	1			1	1			1		1		1	
K. Spachinger	1			1	1			1		1	1		
G. Heindl	1			1		1	1			1	1		
M. Ertl		1		1	1			1	1			1	
M. Panzirsch	1		1		1			1	1		1		
W. Dorner	1			1	1			1	1		1	1	
M-B. Hagemeyer	1		1		1			1	1		1		
G-H. Merz	1		1		1			1		1	1		
W.A. Schiessl	1		1			1		1	1			1	
D. Martouzet	1		1		1			1	1		1	1	
H. Baptiste	1		1		1			1	1			1	
N. Bois		1	1		1			1	1		1		
S. Larribe	1		1		1			1		1	1		
B. Burel		1	1		1			1	1			1	
J. Ducrocq	1		1		1			1	1		1		
L. Sellami		1	1		1		1			1		1	
Total	16	5	15	6	19	2	3	18	14	7	11	10	1

Tableau 12 : Résumé des préférences sémiologiques des différentes catégories de candidats

Ainsi :

- 16 candidats sur 21 (76% des sujets) préfèrent que la légende se trouve à droite,
- Et 15 sur 21 (71%) préfèrent que le titre se trouve en haut.

Ces résultats intéressants, illustrent bien la spontanéité de la stratégie visuelle. En effet, par convention, en Allemagne, le titre est placé plutôt en bas, on aurait donc pu s'attendre à ce que bien lus de spécialistes allemands ou autrichiens (habitués à lire des cartes allemandes) la préfère en bas. Or seulement 5 personnes ont fait ce choix ce qui prouve que placer le titre en haut correspond à une logique intuitive de lecture.

- Pour le nombre de classes (discrétisation), 19 personnes sur 21 (90%) préfèrent une légende simplifiée ne comptant que 5 classes au lieu de 7.

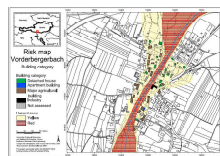
Ce choix a d'ailleurs été renforcé par les commentaires des candidats qui précisait que trop d'information dans la légende la rendait moins lisible.

Doubler les cartouches de discrétisation (carte 13) et placer les valeurs les plus faibles au sommet dans une gamme de couleur froide (carte 11, 12 et 14) est également apparu comme un non sens pour de nombreux candidats.

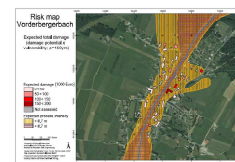
Par ailleurs, 18 candidats sur 21 (85%) ont préféré le rouge pour représenter le risque.

Outre la valeur de contraste (systématiquement mise en évidence) les habitudes culturelles (surtout chez les initiés français) veulent que l'on utilise le rouge pour signaler un danger, un risque de crue en l'occurrence.

- 14 personnes sur 21 (plus de 66 % des sujets) ont préféré une échelle plus grande (1/2500) expliquant qu'elle permettait aux destinataires de mieux se repérer et éventuellement de développer un sentiment de proximité et de familiarité avec la zone concernée.
- Pour le choix du fond de carte, 11 candidats (52%) ont préféré le Cadastre et 10 (47%) ont préféré la photographie aérienne. Seul un candidat a estimé esthétique l'ortho photographie IR utilisée pour les cartes 5 et 9.



Les arguments en faveur du cadastre étaient sa clarté et l'effet de contraste qu'il permettait par rapport à l'information principale de la carte.



Les commentaires en faveur de la photographie aérienne mettaient en évidence la focalisation qu'il provoquait sur le centre de la carte et son réalisme.

La compréhension finale des phénomènes observés résulte d'une articulation complexe entre des processus successifs de perception et d'interprétation. Les aspects cognitifs de la perception sont approchés à travers des questions portant sur le message qu'avaient retenu les candidats après lecture des différentes cartes.

Le problème de la langue dans laquelle étaient rédigés titre et légende a été soulevé par tous les candidats français. Ainsi, à de rares exceptions près, cet élément s'est avéré une barrière quasi infranchissable à la compréhension des documents. Ceci est encore plus vrai dans le contexte de travaux de recherche européens, les différentes populations destinataires étant de langues et de cultures différentes.

Conclusions sur les différentes analyses et recommandations pour la conception de cartes efficaces

Concernant le protocole même de l'approche Sémiologie Graphique Expérimentale, se pose la question de la validité de la méthode utilisée et des résultats obtenus au regard des techniques et contraintes "d'enquêtes". Parmi ces contraintes, il convient de citer principalement la taille de l'échantillon. Les résultats obtenus dérivent d'un nombre restreint de sujets (21 personnes). Ceci pourrait représenter une limite à l'étude exploratoire des stratégies du regard en vue de généraliser les observations constatées. En réalité, ce qui compte le plus ce n'est pas tant le nombre de personnes qui composent notre échantillon, mais plutôt la représentativité de cet échantillon. Nous avons en effet fait une distinction entre les sujets spécialistes, initiés et non initiés à la cartographie et à ses techniques.

Toutefois constituer un échantillon de sujets représentatifs⁹⁴ est une tâche qui reste assez difficile voire impossible à réaliser avec les moyens à disposition. De plus, on a vu que l'homogénéité⁹⁵ de ces catégories distinguées n'était pas évidente et que chacune de ces catégories ne comportait pas le même nombre d'individus ce qui faussait légèrement la représentativité des résultats finaux. Enfin, l'échantillon ne comportait qu'un seul maire (allemand). Mais là aussi il est très délicat d'obtenir les tracés de tels candidats (disponibilité des élus, décideurs...).

Compte tenu de ces limites, les résultats (statistique, spatial et dynamique) de l'étude ne peuvent être considérés comme un acquis définitif. Il est évidemment nécessaire de confirmer ou infirmer les différents effets constatés au moyen d'un protocole plus exhaustif et surtout adapté aux cartes et documents évalués.

En dépit de ces limites, ces travaux constituent malgré tout une avancée en matière de recherche européenne en sémiologie graphique appliquée à la cartographie du risque d'inondation. Ils ont en effet permis de mettre en évidence certains éléments susceptibles de servir de base à l'élaboration de cartes plus efficaces et adaptées (en termes de communications graphique et cognitive) à différents types de publics. N'évacuant nullement les réserves précédentes et en attendant d'éventuels travaux complémentaires, il nous est possible de synthétiser les résultats obtenus et de tenter de les intégrer dans une représentation schématique de « la carte idéale » selon nos candidats testés.

⁹⁴ Un échantillon est dit représentatif lorsque tout individu de la population mère (les élus, les décideurs, les gestionnaires de l'espace...) est susceptible de figurer dans l'échantillon. En général l'INSEE interroge 1 personne sur 10 dans un train ou à un péage autoroutier. A partir des fichiers du Recensement Général de la Population (RGP), il procède à un tirage compris entre 1/20 et 1/4 selon les cas.

⁹⁵ La question qui se pose désormais par rapport à cet aspect d'initié à la cartographie est la suivante : les élus sont-ils généralement des initiés à la cartographie et à ses techniques ? D'une manière plus générale, nous pouvons nous interroger sur leur degré de formation ?

Cette recherche a permis de dégager principes généraux concernant les stratégies visuelles et de montrer le fort pouvoir attractif :

- Du texte et en particulier du titre et de la légende probablement lié à la culture et à l'éducation. Un tel résultat a déjà été dégagé par des recherches précédentes de K. Serrhini ;
- Des couleurs vives ou foncées au sein de la carte comme de la légende.

L'étude a également permis de vérifier :

- Que la position respective des différents éléments (titre, légende, carte) n'était pas neutre dans la façon dont ces composantes étaient appréhendées visuellement ;
- Que les différents éléments de la carte étaient presque toujours regardés dans le même ordre : du centre (élément central de la carte) vers la périphérie (légende) puis une nouvelle fois du centre (légende et élément central) vers la périphérie (informations secondaires).
- La double influence de la carte sur les stratégies visuelles et des habitudes du lecteur sur sa façon d'appréhender la carte.
- Qu'il existait un phénomène d'accoutumance (ou d'apprentissage visuel) d'une carte à l'autre à mesure de l'écoulement du temps.

Il semble nécessaire pour concevoir une carte du risque d'inondation de tenir compte des recommandations suivantes pour des éléments particuliers de sémiologie, tels que :

- L'élément central de la carte :

Le fond de carte doit être de couleur claire pour favoriser le contraste avec les éléments informatifs et éviter les surcharges de traits (courbes de niveau, axe routier secondaires...). Le caractère « réaliste de celui-ci aiderait les observateur à mieux se repérer.

- Le titre, la légende et l'échelle (cartouche des informations « textuelles ») :

- La légende devait être écrite suffisamment en gros et respecter les principes suivants :
 - Les candidats ont préféré que la légende soit placée à droite de la carte et le titre a été jugé plus repérable et lisible lorsqu'il était placé en haut.
 - Se limiter à 5 classes (discrétisation) pour une information ordonnée ;
 - Que la valeur soit représentée graphiquement par un dégradé dans une seule couleur ;
 - Que les différentes classes apparaissent en ordre de valeurs décroissantes (les plus fortes en haut et les plus faibles en bas) ;
 - Des teintes chaudes (le rouge) ont été préférées aux teintes froides (vert) pour représenter les informations principales.
 - La légende pouvait contenir des informations complémentaires mais celles-ci devaient être en nombre limité et correspondre exclusivement à des éléments présents sur la carte.

- Enfin, les candidats ont préféré une échelle suffisamment grande (1/2500) pour que les éléments de la carte soient reconnaissables par les destinataires (bâtiments, parcelles...).

Voici donc une représentation schématique de la carte qui aurait le plus satisfait nos candidats

Légende, titre et échelle à droite

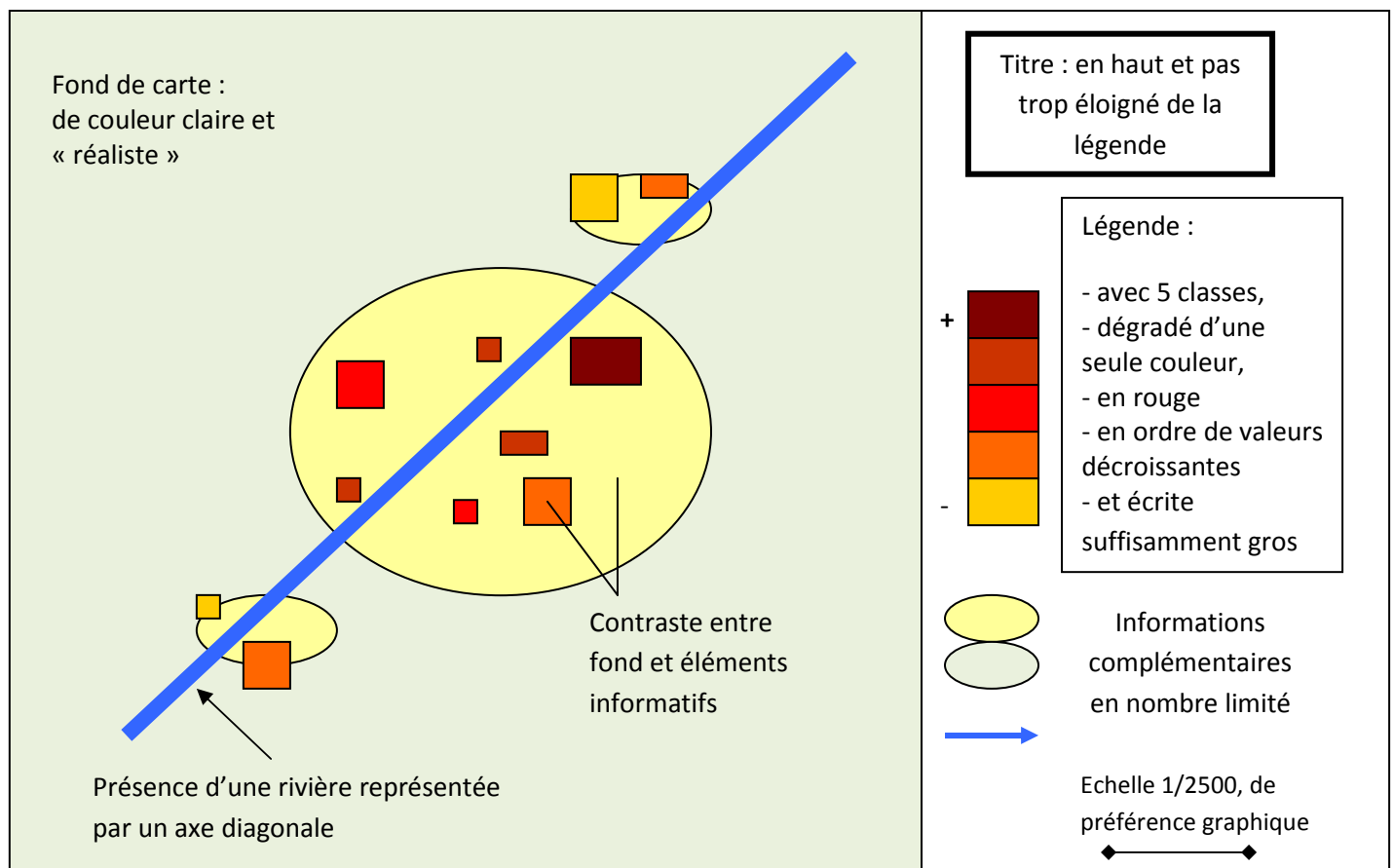
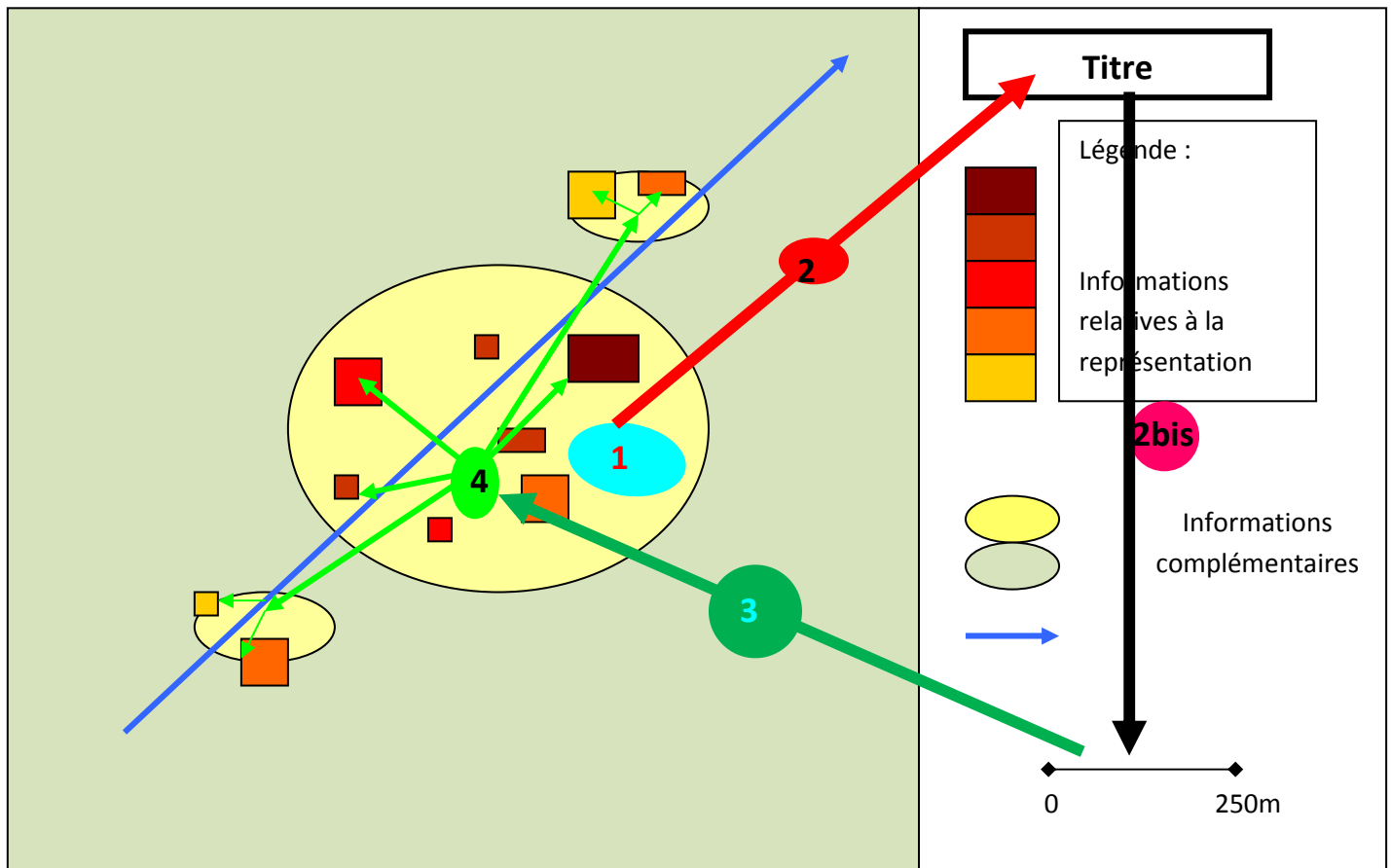


Schéma 7 : Représentation schématique de la carte qui aurait le plus satisfait nos candidats

Et il est alors possible que ceux-ci aient développé une stratégie visuelle proche du schéma suivant

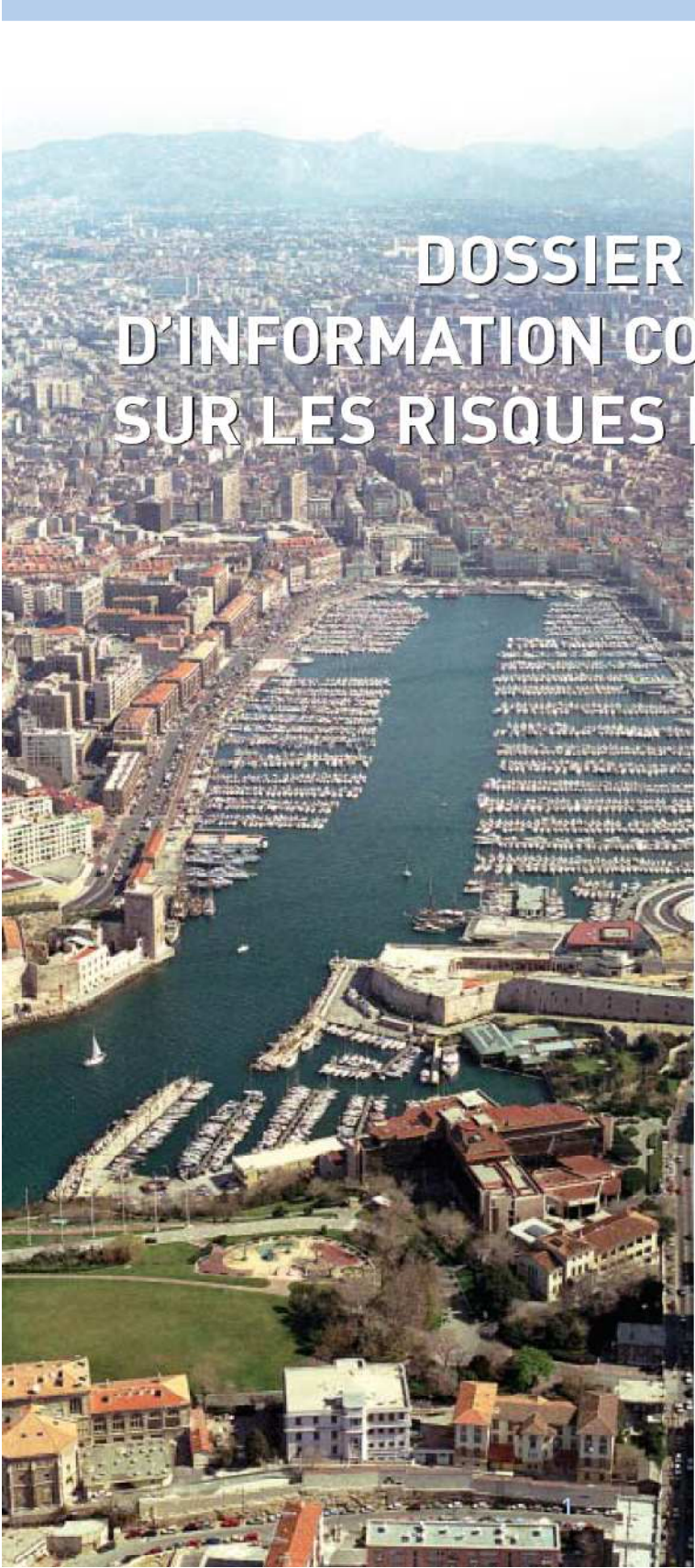


- 1** Le regard démarre au centre de la carte (réflexe plus effet du matériel)
- 2** Le regard se déplace ensuite vers la zone de texte pour ...
- 2bis** ...axe vertical de lecture du titre, de la légende et de l'échelle
- 3** Le regard retourne alors à l'élément central de la carte
- 4** Puis appréhende des éléments périphériques.

Schéma 8 : Stratégie visuelle correspondant à la représentation schématique

Annexe n°1 :

Extrait du Dossier d'Information
Communal sur les Risques Majeurs de
la commune de Marseille



DOSSIER D'INFORMATION COMMUNAL SUR LES RISQUES MAJEURS

Depuis plusieurs années, la Ville de Marseille s'est impliquée dans la prévention et la gestion des risques naturels ou technologiques que pourraient encourir le territoire communal et ses habitants. Malgré les précautions prises et les dispositifs mis en place, certains quartiers de notre ville ont eu à subir incendies, inondations, éboulements.

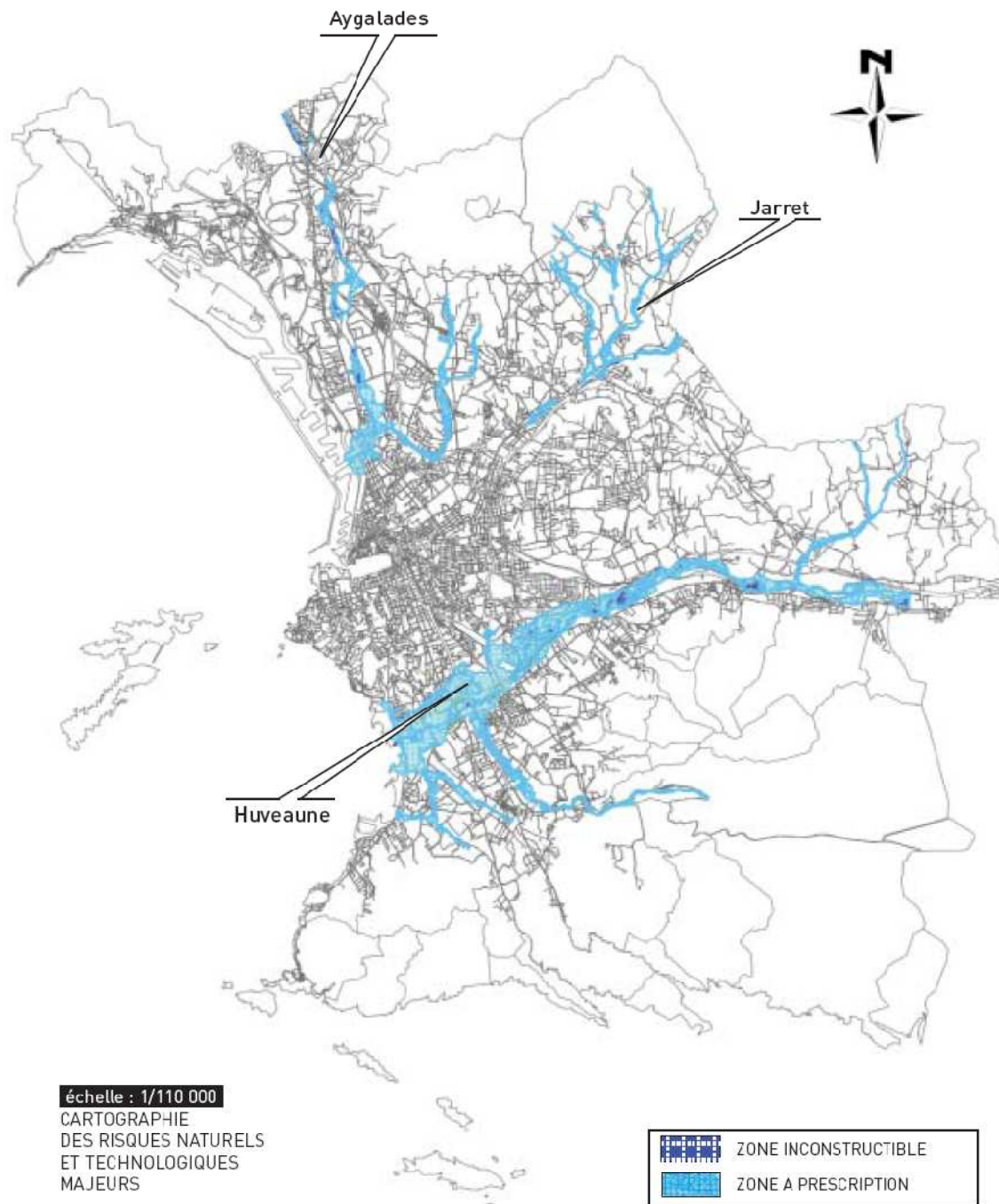
En éditant et diffusant ce document, la Ville de Marseille remplit son devoir d'information envers les Marseillais, plus particulièrement vers ceux qui résident ou exercent une activité dans des zones qualifiées "à risques".

Il recense l'éventail des actions engagées, les aménagements réalisés et poursuivis, les dispositifs que la Municipalité peut déclencher à la moindre alerte. Il informe également les citoyens sur les consignes individuelles de sécurité à respecter si, hélas, l'une des catastrophes évoquées se produisait. En des circonstances aussi particulières, les marseillais pourront se montrer "Acteurs de leur Ville".

Jean-Claude GAUDIN

Maire de Marseille
Président de Communauté Urbaine
Marseille Provence Métropole
Vice-Président du Sénat

Le risque Inondation



LE RISQUE INONDATION

Marseille dispose d'un réseau hydrographique dense : Huveaune, Jarret, Aygaldes et autres ruisseaux.

Le risque d'inondation sur la commune de Marseille correspond :

- aux crues torrentielles de la plupart des ruisseaux communaux, en particulier, l'Huveaune, le Jarret et le ruisseau des Aygaldes,
 - au ruissellement urbain dû à l'imperméabilisation des sols de la commune. Le centre ville est le principal secteur concerné,
- L'inondation majeure de l'Huveaune de 1978 et l'orage torrentiel du 19 septembre 2000 inondant une partie de la ville a montré la vulnérabilité d'un site urbain tel que Marseille.



Canebière
Cours St-Louis
inondation
19 sept. 2000



Cours St-Louis inondation 19 sept. 2000



I - Les actions de prévention

Les mesures réglementaires

Afin de ne pas aggraver ce risque, un certain nombre de mesures réglementaires figurent dans le Plan Local d'Urbanisme (PLU - POS), en complément d'un dispositif général de gestion du risque.

Ces mesures concernent essentiellement :

- l'interdiction de construire dans les zones à risque,
- la possibilité de construire ou d'aménager assortie de prescriptions techniques selon le risque estimé.

Une politique de travaux hydrauliques

Les contraintes économiques, techniques et foncières ont amené la Ville à établir un plan de travaux inscrit dans le temps, à savoir :

- 1 200 000 m³ de rétention,
- 50 à 175 km de voies à assainir en fonction du seuil de protection envisagé,
- un recalibrage des cours d'eau principaux et de leurs affluents majeurs



Canebière - Cours Belsunce 19 sept. 2000

La prévision et le suivi des situations à risques

Le Poste Central de Télégestion de Marseille exerce, avec l'assistance de Météo France, une surveillance permanente de la situation météorologique et de ses conséquences :

- stations de terrain pour la surveillance en temps réel de la pluie
- images satellite et radar de Météo France
- détection foudre
- prévisions radar de précipitations



Quai de la Fraternité - Vieux Port - inondation du 19 sept. 2000

// - L'organisation des secours

Les services municipaux, les services de la Communauté Urbaine, le Bataillon de Marins Pompiers de Marseille et la Direction Départementale de l'Équipement ont établi des procédures de sécurité. Elles permettent une mobilisation anticipée et organisée des secours à partir de 4 niveaux de risque préalablement déterminés : les informations ainsi disponibles permettent d'orienter les secours vers les quartiers concernés.

Les moyens de la Protection Civile Urbaine sont mis à disposition du Bataillon de Marins Pompiers de Marseille pour assister les populations.

Les services municipaux sont aptes à mobiliser l'ensemble de leurs moyens logistiques et humains pour faciliter le retour à la vie normale.



Quai de la Fraternité - Vieux Port - inondation du 19 sept. 2000



La Protection Civile Urbaine (PCU) participe à la mise en œuvre de tous les plans de secours de la Ville de Marseille



Chemin de l'argile - inondation du 19 sept. 2000



/// - Les consignes de sécurité

Information préventive du citoyen

AVANT

- ◆ S'informer des risques encourus et des consignes de sauvegarde (refuge en hauteur)
- ◆ Disposer d'un poste de radio à piles
- ◆ Prévoir les gestes essentiels :
 - Amarrer les cuves
 - Faire une réserve d'eau potable
 - Rassembler papiers, argent, médicaments... (pour une éventuelle évacuation)

PENDANT

- ◆ Fermer portes, fenêtres, aérations,
- ◆ Couper les alimentations en gaz et en électricité,
- ◆ Se réfugier dans les étages
- ◆ Ecouter la radio (France Inter... ou votre radio de proximité) et attendre les consignes des autorités

APRES

- ◆ Ventiler les pièces (solution préférable au chauffage)
- ◆ Ne rétablir l'électricité qu'après un contrôle complet des circuits électriques
- ◆ Chauffer dès que possible

Dans tous les cas, respecter les consignes des autorités

LES BONS REFLEXES EN CAS D'INONDATION



▶ Fermez les portes, fenêtres, soupiraux, aérations



▶ Fermez le gaz et l'électricité



▶ Montez à pied dans les étages



▶ Ecoutez la radio
▶ Respectez les consignes des autorités



▶ N'allez pas chercher vos enfants à l'école pour ne pas les exposer



▶ Ne téléphonez pas, libérez les lignes pour les secours

Si vous êtes témoin d'une situation de détresse, alertez les Marins Pompiers.

Tél : 18 (poste fixe) 112 (portable)

Annexe n°2 :

Un exemple de PPRI



Le Plan de Prévention des Risques d'Inondation de la Solre (PPRI)

Le PPRI ne réduit pas les inondations mais définit la zone inondable à prendre en compte pour l'aménagement et l'urbanisme (permis de construire, usage des bâtiments en zone inondable, etc ...).

Un PPRI : pourquoi ?

Il régit l'utilisation des sols en fonction du risque naturel inondation. Ce document est réalisé par l'Etat en étroite concertation avec les communes concernées.

Il est conçu et appliqué de manière globale sur l'ensemble de la vallée de la Solre afin d'assurer une cohérence dans la gestion du risque inondation.

En fonction du niveau de risque sur les zones concernées, certaines constructions, ouvrages, aménagements ou exploitations sont interdits.

Le PPRI approuvé est une servitude d'utilité publique et s'impose à tous. Il permet de garantir le niveau d'indemnisation en cas de sinistre ayant pour origine une inondation.

Il concerne les personnes habitant le périmètre inondable ou qui ont des projets dans celui-ci.

NB : Le PPRI de la Solre traite uniquement des inondations par débordement du cours d'eau de la Solre et de ses affluents.

3 objectifs

- les nouveaux projets ne sont autorisés que s'ils sont en sécurité par rapport au danger identifié
- les projets autorisés ne doivent pas aggraver petit à petit les phénomènes
- la pérennité des constructions existantes doit être améliorée

4 zones, définies en fonction des objectifs

- deux zones vertes : ce sont les zones naturelles ou d'habitat diffus fortement exposées (vert foncé) ou moyennement et faiblement exposées (vert clair) qui constituent les zones d'expansion des crues à préserver absolument de toute urbanisation
 - une zone rouge : ce sont les zones d'habitat ou d'activités fortement exposées
 - une zone bleue : ce sont les zones d'habitat ou d'activités moyennement ou faiblement exposées
- Les secteurs laissés en blanc ne sont pas soumis à l'inondation centennale par débordement de cours d'eau

1 règlement par zone qui définit

- les constructions interdites
- les constructions autorisées sous réserve de prescriptions
- les mesures à appliquer aux biens et activités existants
- les mesures générales incombant aux particuliers, aux collectivités, aménageurs, etc



Que faire si mon projet se situe dans un secteur inondable ?

L'étude a défini des zones correspondant à divers objectifs de prévention. Un code couleur facilite la lecture réglementaire de chacune des zones ainsi définies.

En zone vert foncé ou rouge :

L'inondation est trop importante pour garantir la sécurité de tous les projets (difficultés techniques, solutions coûteuses, danger pour les vies). Le principe est donc pour ces zones de ne plus autoriser de nouvelle construction ni de remblais.

En zone vert clair :

Cette zone est une zone de stockage des eaux en cas de débordement du cours d'eau. On parle de zone d'expansion des crues.

L'objectif est de maintenir les capacités de stockage de cette zone pour ne pas aggraver les inondations. Le principe est donc de préserver ces zones de l'urbanisation et des remblais.

En zone bleu :

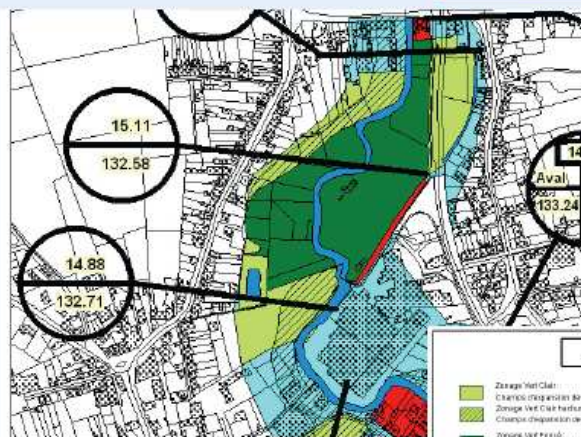
Il s'agit des zones bâties moyennement à faiblement exposées où il subsiste encore quelques opportunités de construire. Ces parcelles non bâties jouent un rôle moindre dans le stockage de l'expansion de crue et il est possible d'y construire en sécurité ; il est donc concevable d'y poursuivre l'urbanisation moyennant :

- la mise en sécurité des nouveaux biens
- des remblais limités

Toute demande d'autorisation (construction nouvelle ou extension) sera complétée par des pièces ⁽¹⁾ telles que :

- un relevé topographique du terrain
- une notice de mise en sécurité
- une notice de prise en compte du risque
- un engagement du demandeur (ou de l'architecte) à respecter les prescriptions du PPRI

⁽¹⁾ selon le type de zone



Extrait d'une carte de zonage

Si sur les cartes au 1/5000^e du PPRI je ne distingue pas dans quelle zone se situe mon projet, j'applique les dispositions de la zone la plus restrictive et surtout je ne dois pas faire de zoom.



service
Sécurité
Risques
et Environnement

Le Plan de Prévention des Risques d'Inondation de la Solre

Que faire si j'habite dans un secteur inondable ?

Pour réduire les phénomènes, les différents acteurs de l'aménagement peuvent réaliser des travaux de protection et d'entretien comme :

- le curage des cours d'eau
- la construction d'ouvrages de rétention, bassins de stockage
- l'aménagement de digues, etc.

Les gestionnaires du cours d'eau et les riverains doivent assurer l'entretien du cours d'eau et de ses berges.

Ceci me permet d'être inondé **moins souvent** pour des crues faibles à moyennes (période de retour 10 - 20 ans).

Ces travaux ne suffisent cependant pas pour une inondation rare ou exceptionnelle.

Par exemple, pour une inondation centennale les bassins de stockage ne suffisent pas à me protéger.

Le PPRI prescrit donc des mesures pour réduire la vulnérabilité de mes biens.

Dans un délai de 2 ans à compter de la date d'approbation du PPRI, je dois :

- mettre en place des pompes (à partir de 50€)
- rendre étanche les entrées d'eau (batardeaux à partir de 50€, etc.)
- stocker de manière sécurisée les produits polluants que j'entrepose

Le respect de ces prescriptions me permet de continuer à être indemnisé en cas de sinistre.



Usine en bordure de la Solre photo DDE SSRE

	Sur 1 an	Sur 30 ans (continu)	Sur 100 ans (continu)
Crue décennale (fréquente)	10% ou 1 chance sur 10	96% soit presque sûrement 1 fois	99,997% soit sûrement 1 fois
Crue centennale (rare)	1% ou 1 chance sur 100	26% ou 1 chance sur 4	63% ou 2 chances sur 3
Crue millénaire (exceptionnelle)	0,1% ou 1 chance sur 1 000	3% ou 1 chance sur 33	10% ou 1 chance sur 10

source : <http://www.prim.net>

service
Sécurité
Risques
et Environnement

Le PPRI ne réduit pas les inondations même courantes mais permet de ne pas aggraver la vulnérabilité des bâtiments et ouvrages existants lors d'une inondation centennale laquelle ne peut pas être gérée par des ouvrages de protection.

Le Plan de Prévention des Risques d'Inondation de la Solre

mai 2007 | PPR Inondation - 3



Je peux aller au delà du PPRI pour réduire davantage la vulnérabilité de mes biens :

Je peux par exemple :

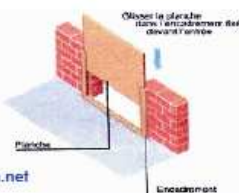
Limiter les risques pour les personnes :

- en identifiant ou créant une zone refuge (pouvoir évacuer vers la zone refuge les personnes et les équipements nécessaires à l'attente des secours)
- en rehaussant le plancher
- en facilitant l'évacuation des personnes
- en empêchant la flottaison d'objets en les ancrant ou les stocker en période hivernale.

Limiter les dommages aux biens :

- en réduisant la pénétration d'eau dans le logement (utiliser des matériaux hydrofuges, batardeaux, sacs de sable, etc.)
- en évitant la pénétration d'eau polluée (mise en place de clapets anti-retour dans les réseaux d'évacuation, etc.)

dispositifs de batardeaux



source : <http://www.prim.net>

Limiter le délai de reprise de possession des lieux :

- en facilitant la remise en route des équipements (rehausser et vérifier l'étanchéité des installations EDF-GDF, Télécom, etc.)
- en facilitant le nettoyage (poser des revêtements de sol facilitant le nettoyage et le séchage : carrelages, etc.)
- en facilitant le séchage (utiliser une pompe pour rejeter l'eau vers l'extérieur)

Pour plus d'information

sur les garanties d'assurance
www.nm-gpsa.org/accueil.php

sur le PPR, vous pouvez contacter la DDE
DDE du Nord - Arrondissement d'Avesnes
Cellule Planification Aménagement Prospective Environnement Risques (PAPER)
8, rue Gosuin - BP 203
59 363 Avesnes/Helpa Cedex
Téléphone : 03 27 56 40 40
Adresse de messagerie : Arrondissement-Avesnes.DDE-59@equipement.gouv.fr

Vous pouvez consulter le PPRI en Mairie, à la Préfecture, et également sur :
http://www.nord.equipement.gouv.fr/Eau_environnement-risques

service
Sécurité
Risques
et Environnement

Comment suis-je assuré ?

Pour qu'un sinistre soit couvert au titre de la garantie «catastrophes naturelles» comprise dans tout contrat d'assurance habitation ou véhicule terrestre, l'agent naturel doit être la cause déterminante. Une franchise reste toujours à la charge de l'assuré.

Tout assuré n'ayant pas respecté ou pris les mesures imposées par le PPRI est susceptible de ne pas bénéficier de cette garantie.

Le régime français d'indemnisation des catastrophes naturelles est basé sur la solidarité nationale.

Cependant ce régime a des limites : le dispositif prévoit que si les 3 conditions suivantes sont réunies :

- 1) votre commune n'est pas dotée d'un Plan de Prévention des Risques d'Inondation
 - 2) votre commune a déjà fait l'objet d'un arrêté portant constatation de l'état de catastrophe naturelle pour inondation
 - 3) vous êtes victime d'une inondation
- votre franchise est modulée (c'est à dire que le montant des dommages restant à votre charge augmente) en fonction du nombre de constatations de l'état de catastrophe naturelle intervenues pour le même risque au cours des 5 années précédant la date de la nouvelle constatation.

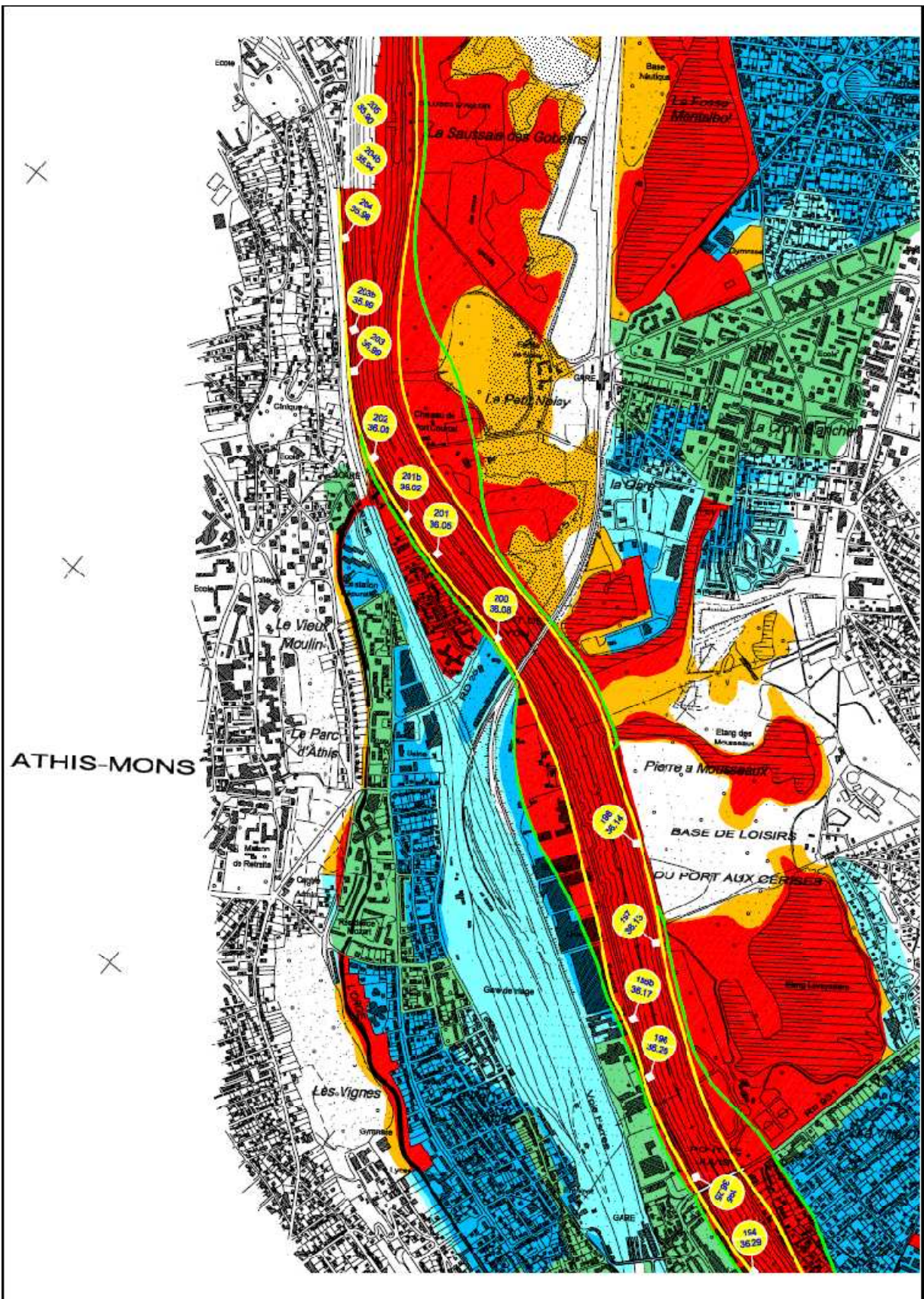
Si un PPR est prescrit, la modulation cesse mais peut reprendre si le PPR n'est pas approuvé dans les 5 ans.

Une fois le PPR approuvé, il n'y a plus de modulation de franchise possible et tout assuré qui respecte les règles du PPR continuera à bénéficier de cette garantie.

Le Plan de Prévention des Risques d'Inondation de la Solre

Annexe n°3 :

Des recommandations de Sémiologie
Graphique non prises en compte dans
un PPRI



LEGENDE

BATI	
BOIS	
MUR	
RAIL DE SECURITE	
ARBRE	
JARDIN	
FOSSE	
FRICHE	
TALUS	
HAIE	
HAIE D'ARBRES	
CLOTURE	
POINT COTE	
SENS DU COURANT	
NAPPE D'EAU PERMANENTE	
FILET D'EAU	
VOIE FERREE	
DETAIL TOPOGRAPHIQUE	
CHEMIN DU VOIE	
PONT OUVRAGE D'ART	
CIMETIERE	
LIMITE DE COMMUNE	
LIMITE DE DÉPARTEMENT	
Zone rouge — écoulement et expansions des crues d'aléas forts à très forts	
Zone orange — expansions des crues d'aléas moyens	
Zone bleu — urbanisées autres que les centres urbains d'aléas forts	
Zone ciel — urbanisées autres que les centres urbains d'aléas moyens	
Zone verte — centres urbains d'aléas moyens à forts	
Bornes de navigation	
Isovitesses 1m/s	
Isovitesses 0.5 m/s	

Nom du dessin : Ppr_seine 10000e - réglementaire.dwg
 Date : 08/10/2003
 Dessiné par : BIEU/FONTENY
 Révision :

maître d'ouvrage

préfecture de l'Essonne



PRÉFECTURE DE
L'ESSONNE
direction départementale
de l'équipement

Vu, pour être annexé à mon arrêté de ce jour,
le 20 octobre 2003,
Le Préfet de l'Essonne



Signé : Denis PRIEUR

approuvé le 20 octobre 2003

Plan de prévention des risques

naturels d'inondation (PPRI),

vallée de la Seine

dans le département de l'Essonne

approuvé par l'arrêté préfectoral n° 2003-PREF.DCL/0375 du 20 octobre 2003

carte des zones réglementaires

maître d'œuvre

direction départementale


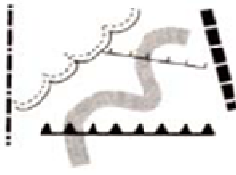


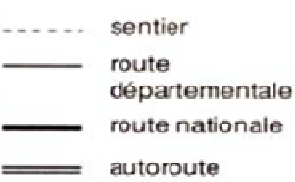
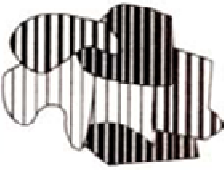
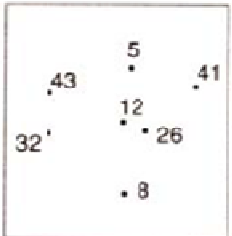
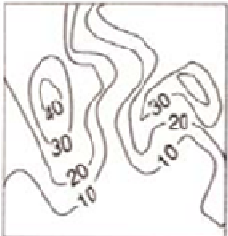
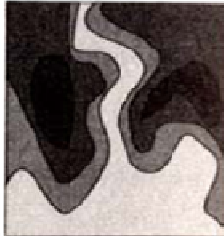





de l'Équipement de l'Essonne

service des Actions Juridiques,
de l'Urbanisme et de l'Environnement
bureau Risques Naturels et Police de l'Eau
route de Lisses - 91100 Villepinte
Téléphone 01 69 51 70 00
Télécopie 01 69 51 34 93

échelle 1/10000.

Annexe n°4 :

Tableau synthétique de certaines règles
de Sémiologie Graphique

		Implantation		
		ponctuelle	linéaire	zonale
Données	nominales	variation de forme et/ou de couleur 		texture-structure 
	ordinales	 ○ sous-préfecture ● préfecture ● préfecture de région	 - - - sentier — route départementale — route nationale = autoroute	expression cartographique ordonnée 
quantitatives	échelle d'intervalle			
	échelle de rapport	variation de taille  effectifs (parfois taux)	variation de taille 	valeur  points comptables  anamorphoses 
		Expression cartographique quantitative		

Les modes de représentation cartographique

Source : La représentation des données géographiques de Michèle Beguin et Denise Pumain

Annexe n°5 :

Informations complémentaires sur le video-oculographe⁹⁶

⁹⁶ Emmanuel Schneider, *Améliorer la Compréhension des Processus Dynamiques avec des Animations Interactives*, Thèse de Doctorat, Mention Psychologie, Université de Bourgogne, p.67.

Deux types de techniques sont employés pour détecter le centre de la pupille. Il s'agit des techniques de la pupille lumineuse (figure ci-dessous) et de la pupille sombre. La différence entre ces deux techniques est basée sur la localisation de la source d'illumination en fonction de l'œil. Si l'illumination est coaxiale avec la trajectoire de l'œil, alors celui-ci agit comme un rétro réflecteur où la lumière se reflète, créant un effet lumineux semblable à l'œil rouge. Si la source d'illumination est excentrée du chemin optique, alors la pupille semble foncée.

La technique de la pupille lumineuse crée un plus grand contraste entre l'iris et la pupille. Cette technique permet une poursuite de l'œil plus robuste avec toute la pigmentation de l'iris et réduit considérablement l'interférence causée par les cils et d'autres sources d'obscurcissement. Cette technique tient compte également d'une poursuite dans diverses conditions de luminosité allant de l'obscurité totale au très lumineux. Néanmoins, elle se révèle inefficace pour une poursuite oculaire en extérieur à cause des sources infrarouges étrangères qui interfèrent avec la calibration de l'œil. La technique de la pupille sombre est adaptée aux spécificités lumineuses d'une poursuite extérieure.

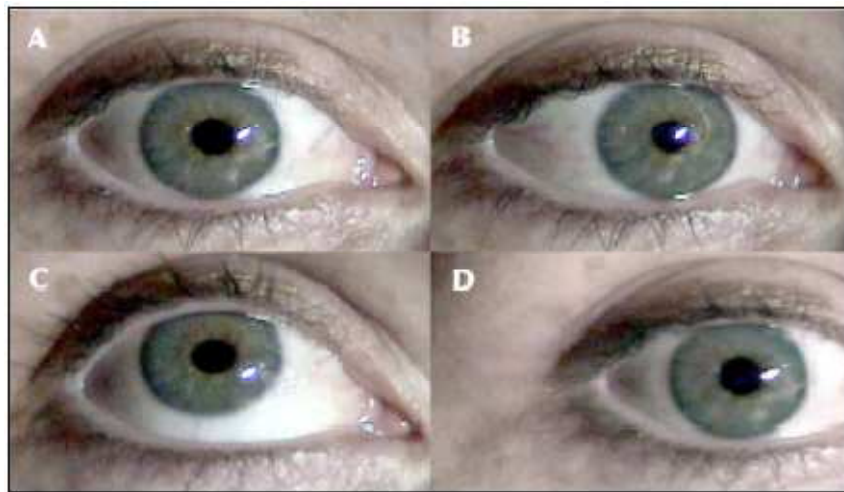
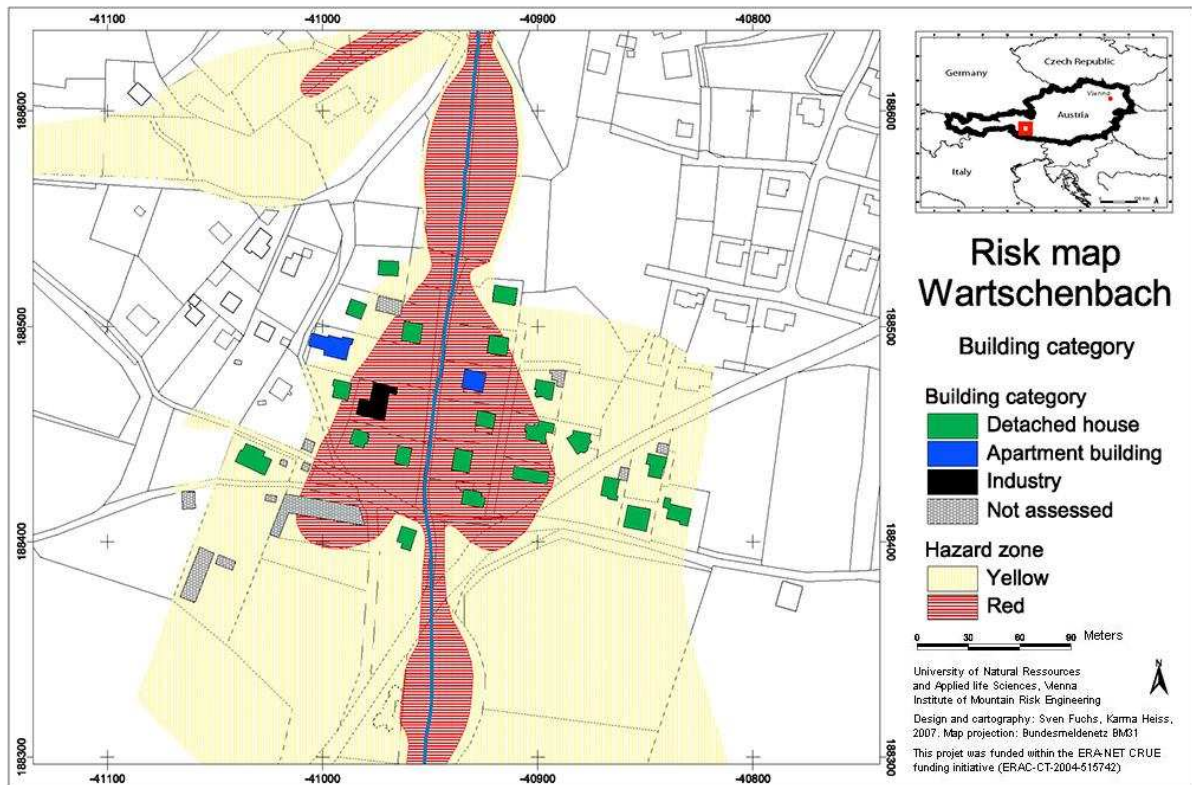


Figure : Technique de la pupille lumineuse. Reflet cornéen en fonction de la position de l'œil et de la tête. Le reflet cornéen apparaît comme un point blanc à droite de la pupille (A). La position relative de la pupille et du reflet cornéen change lorsque les yeux suivent un axe vertical (B) ou horizontal (C). Cette relation ne change pas même lorsque la tête bouge et que l'œil est stable (D). (D'après Richardson & Spivey, 2004)

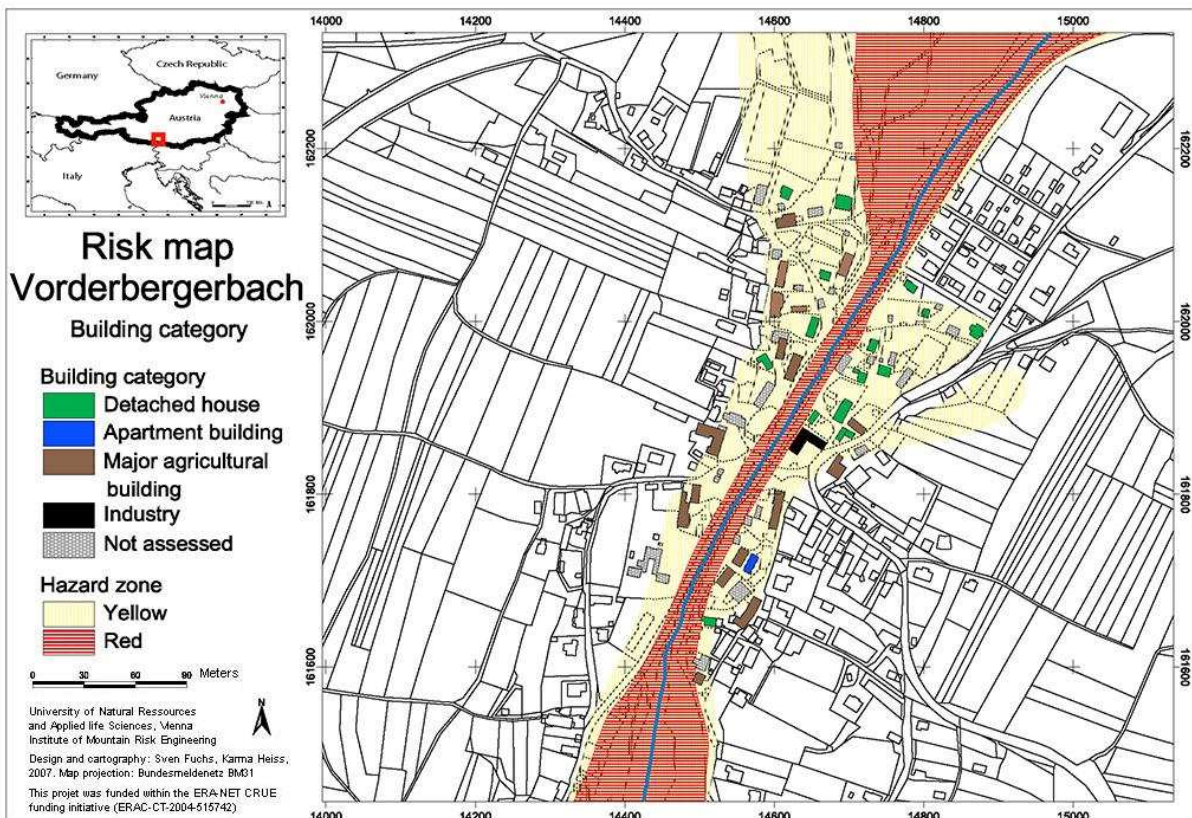
Annexe n°6 :

Les 17 cartes présentées lors des
enregistrements des mouvements
oculaires

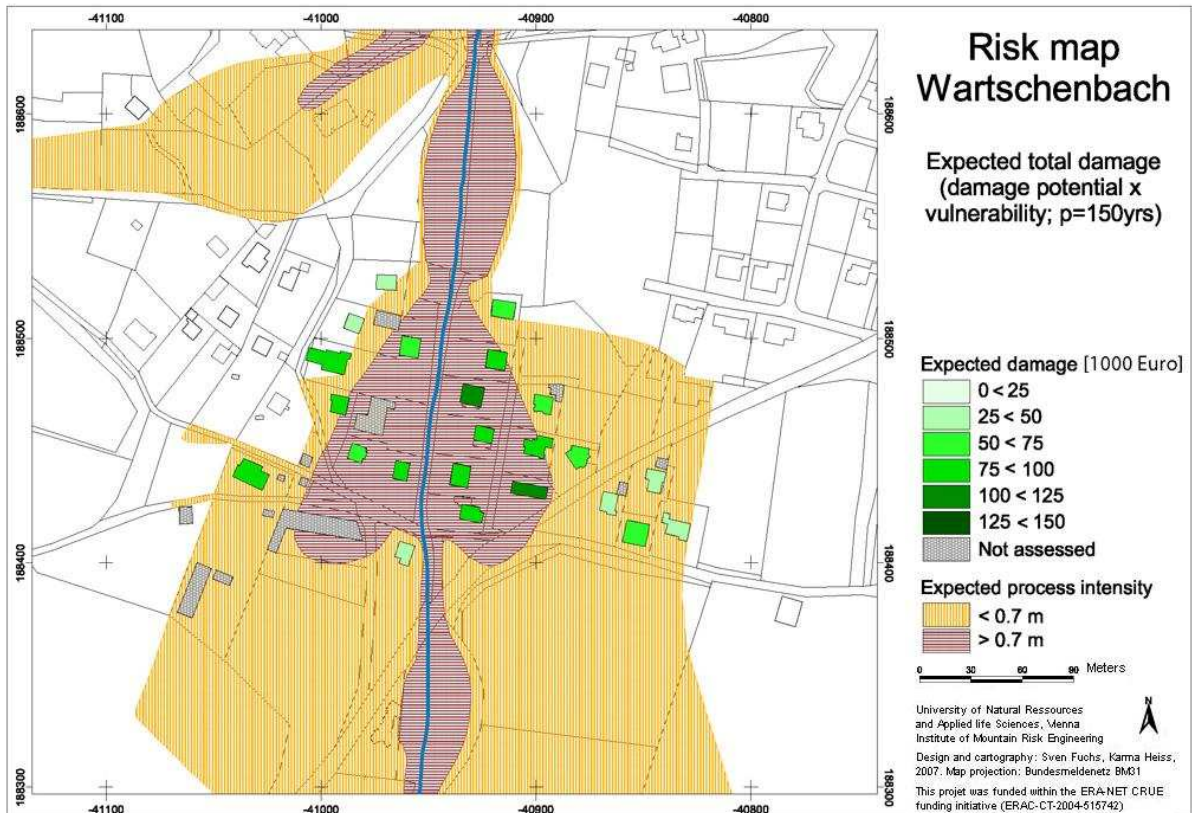
Carte n°1



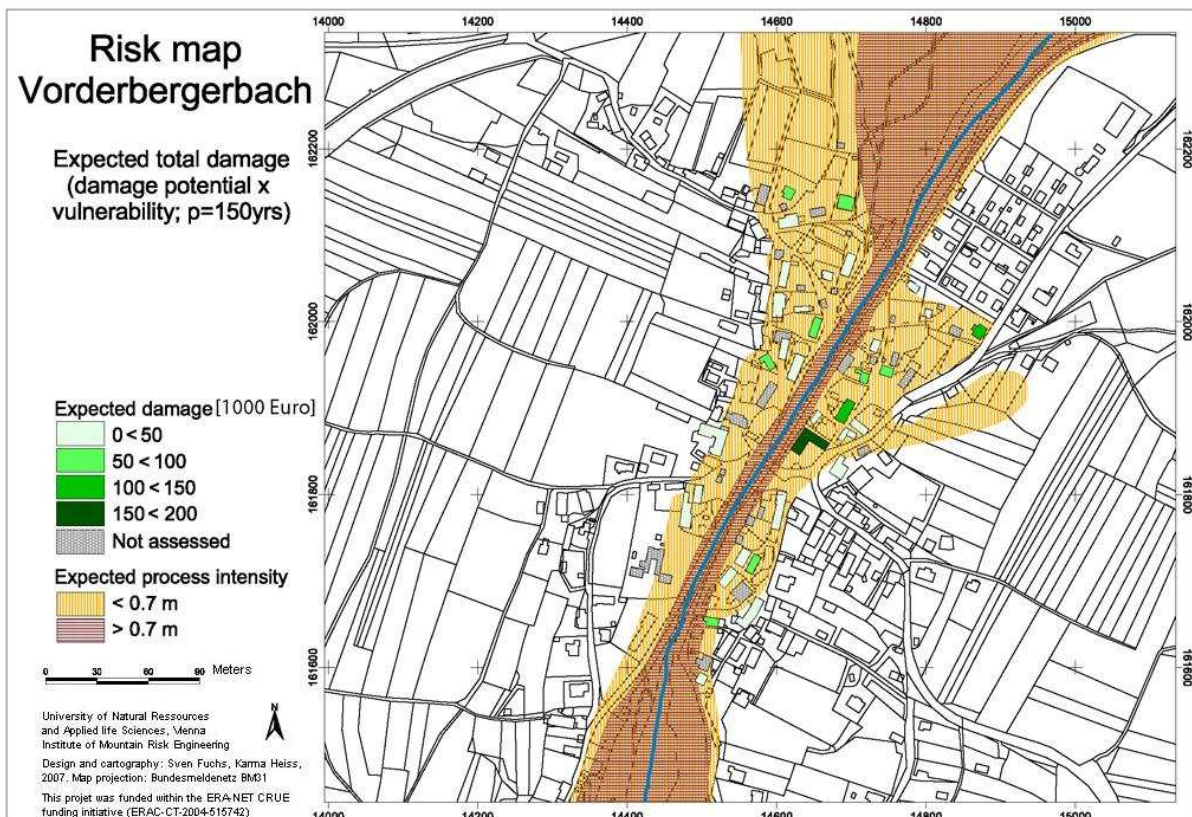
Carte n°2



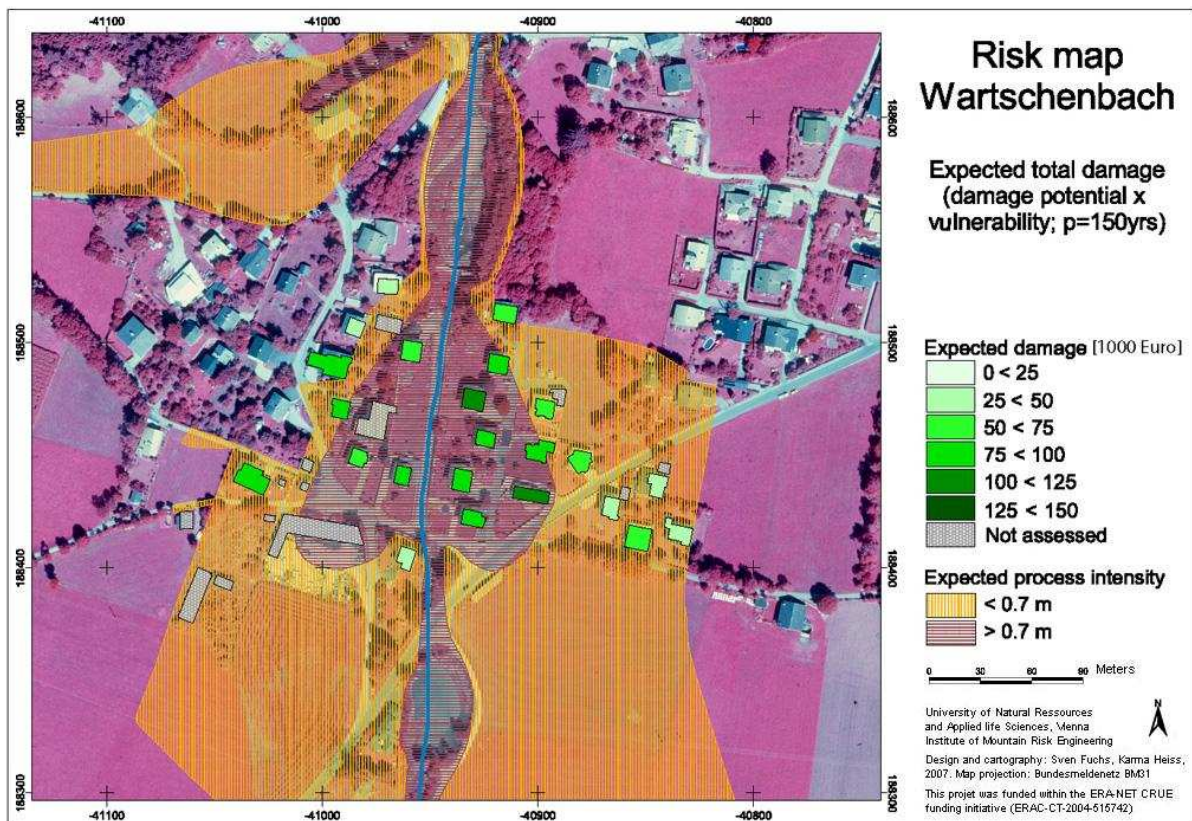
Carte n°3



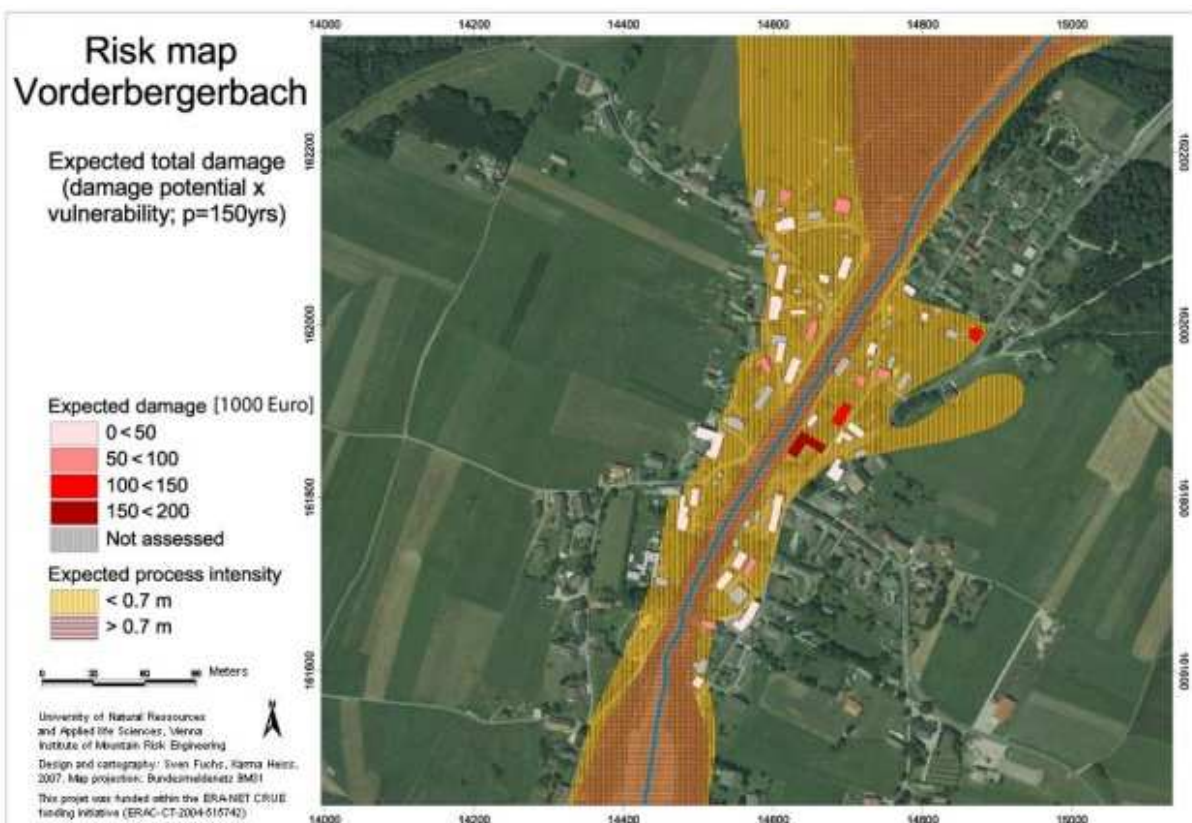
Carte n°4



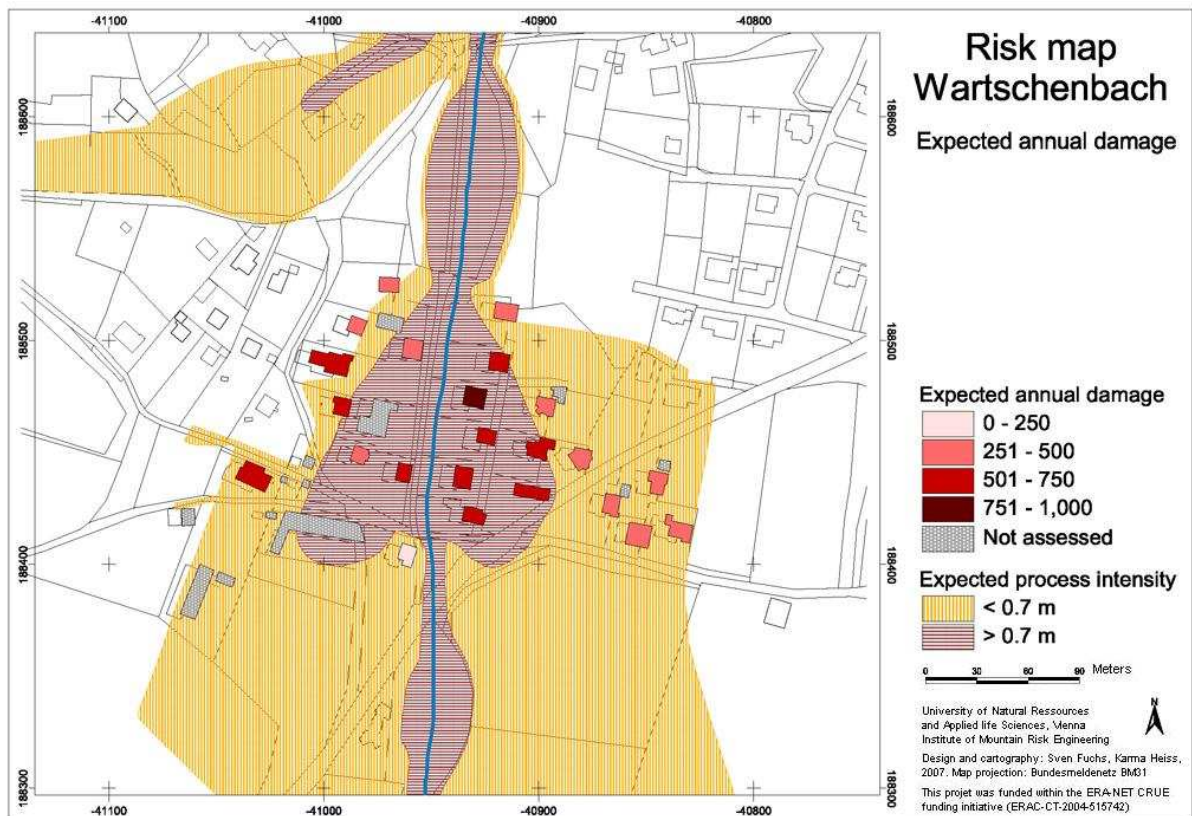
Carte n°5



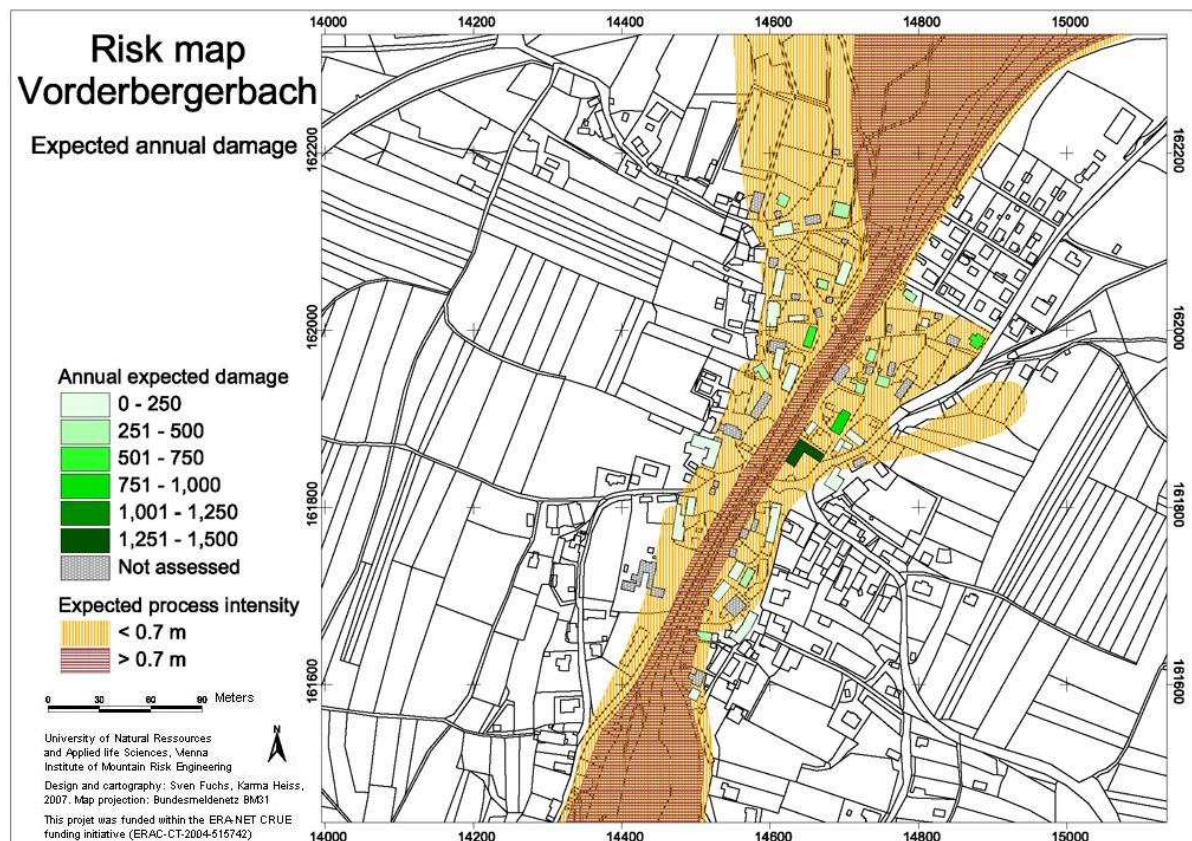
Carte n°6



Carte n°7



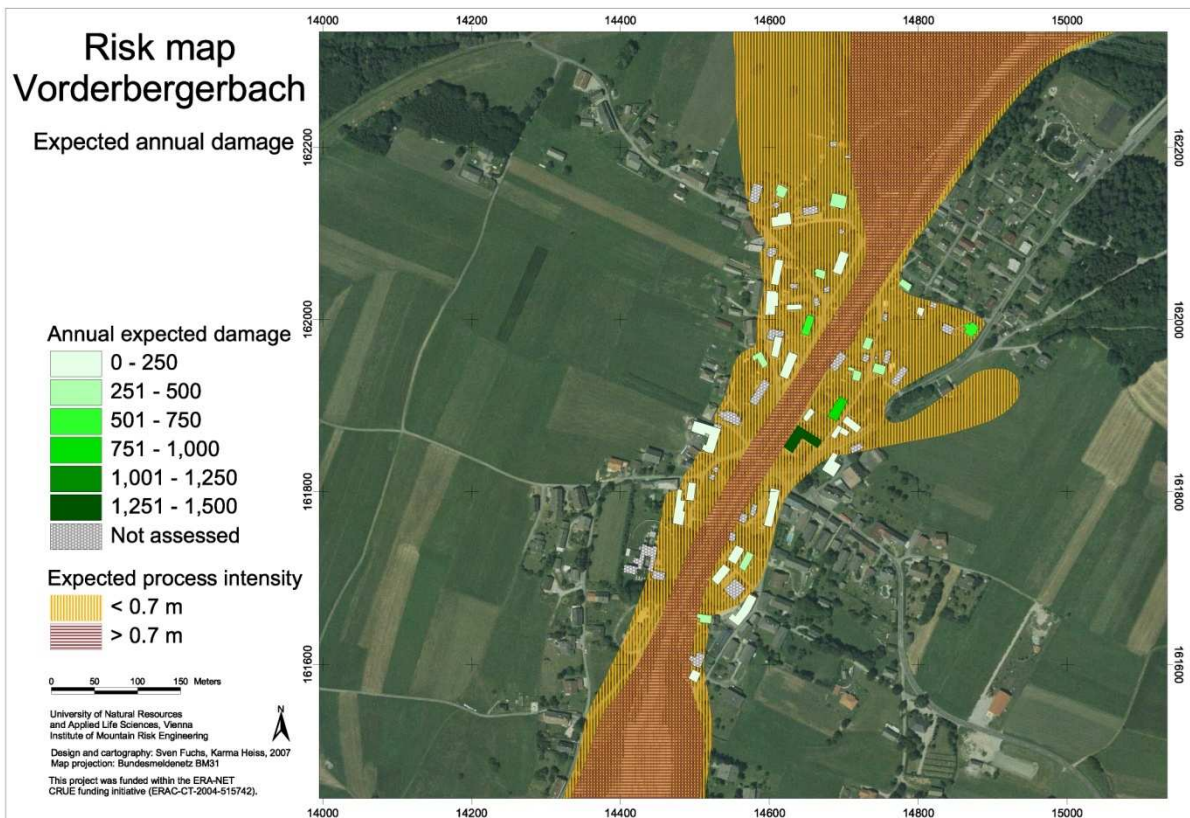
Carte n°8



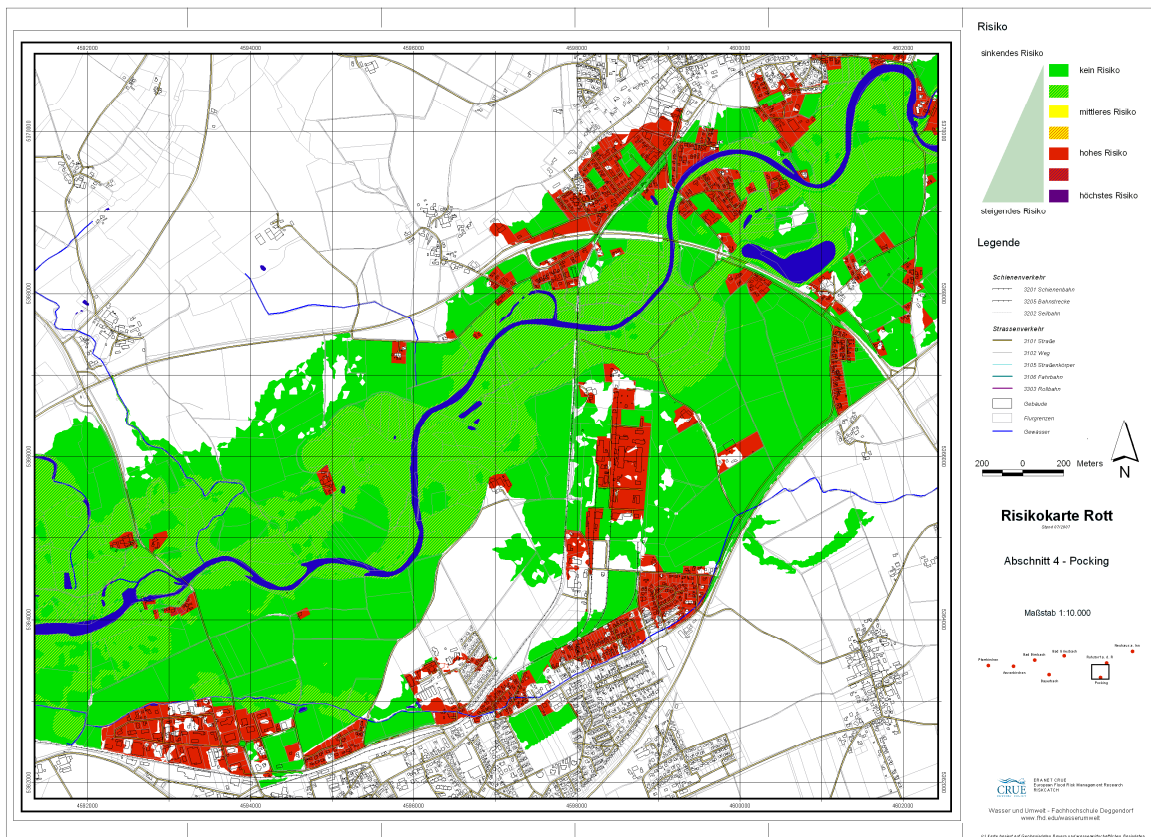
Carte n°9



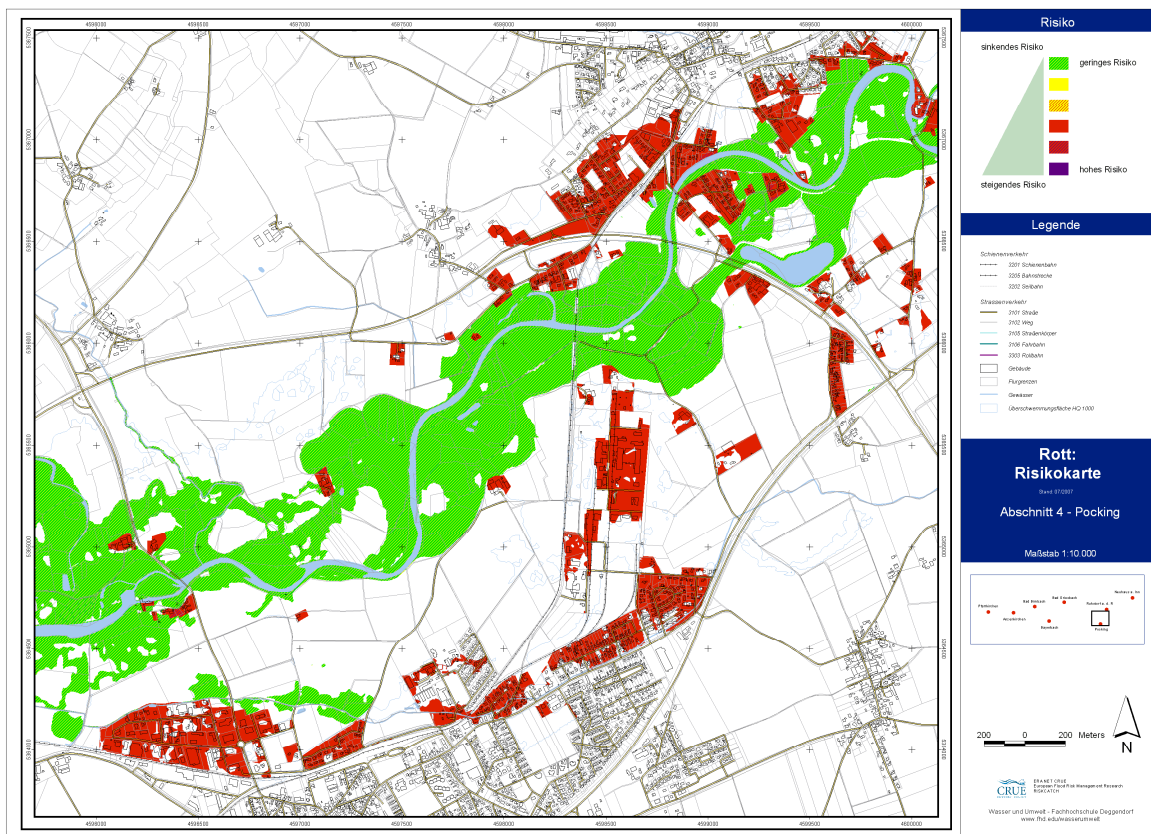
Carte n°10



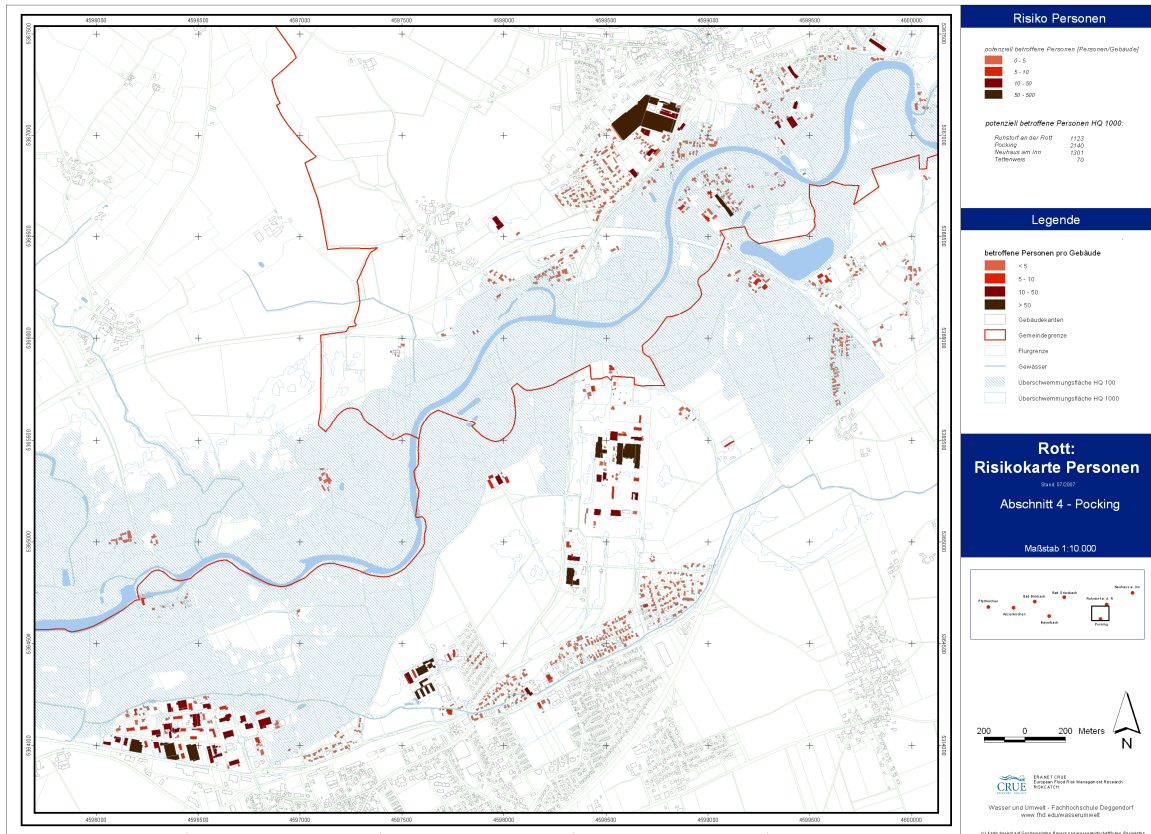
Carte n°11



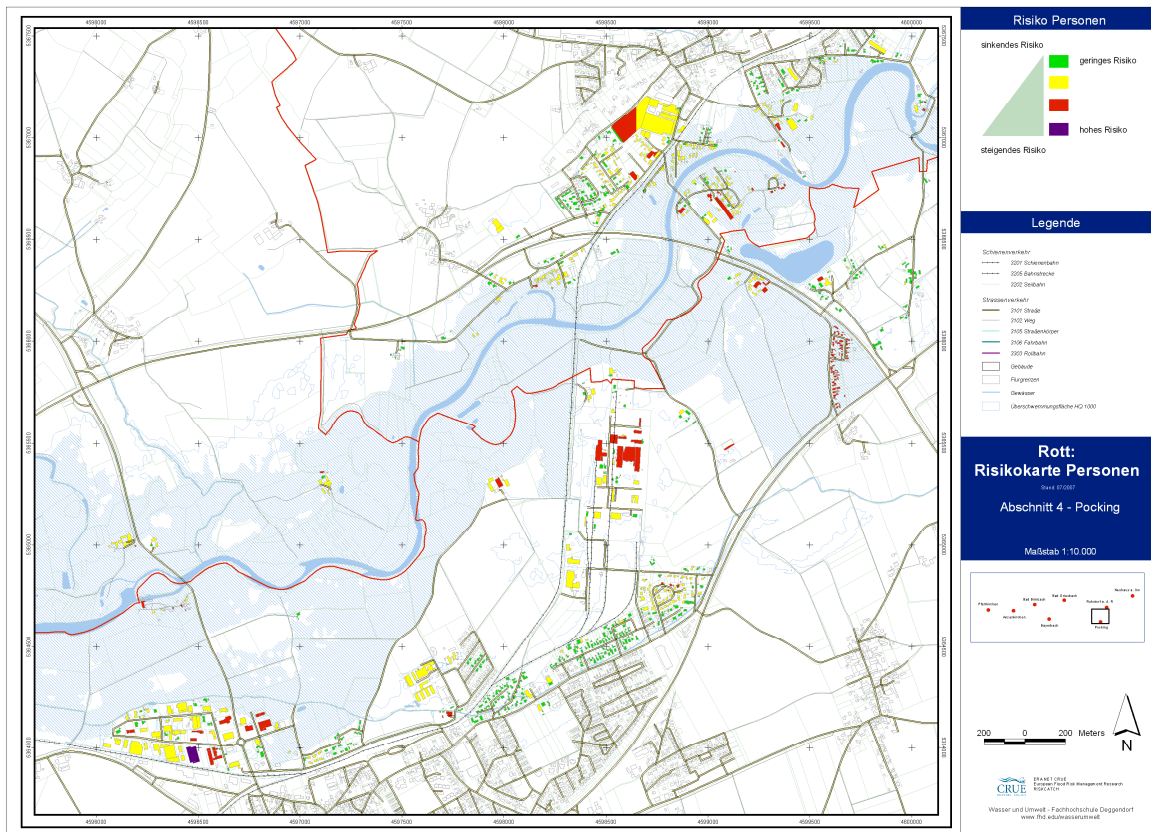
Carte n°12



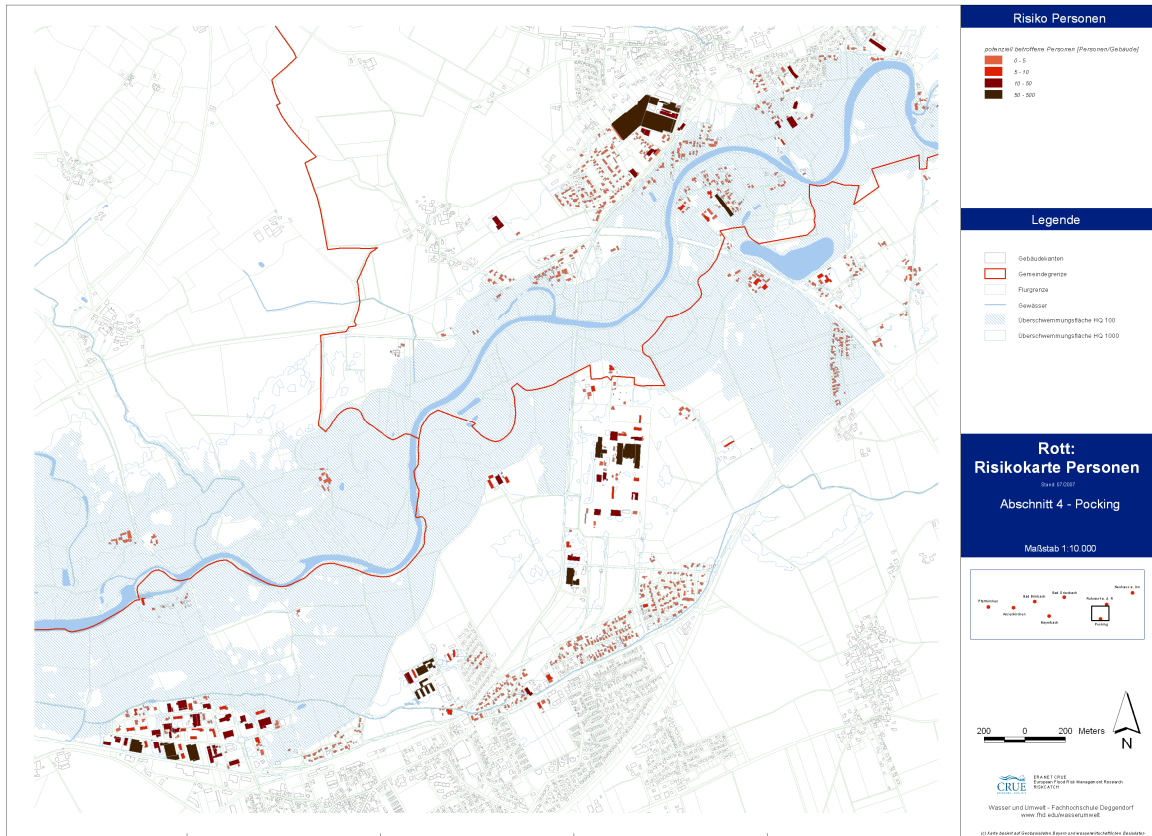
Carte n°13



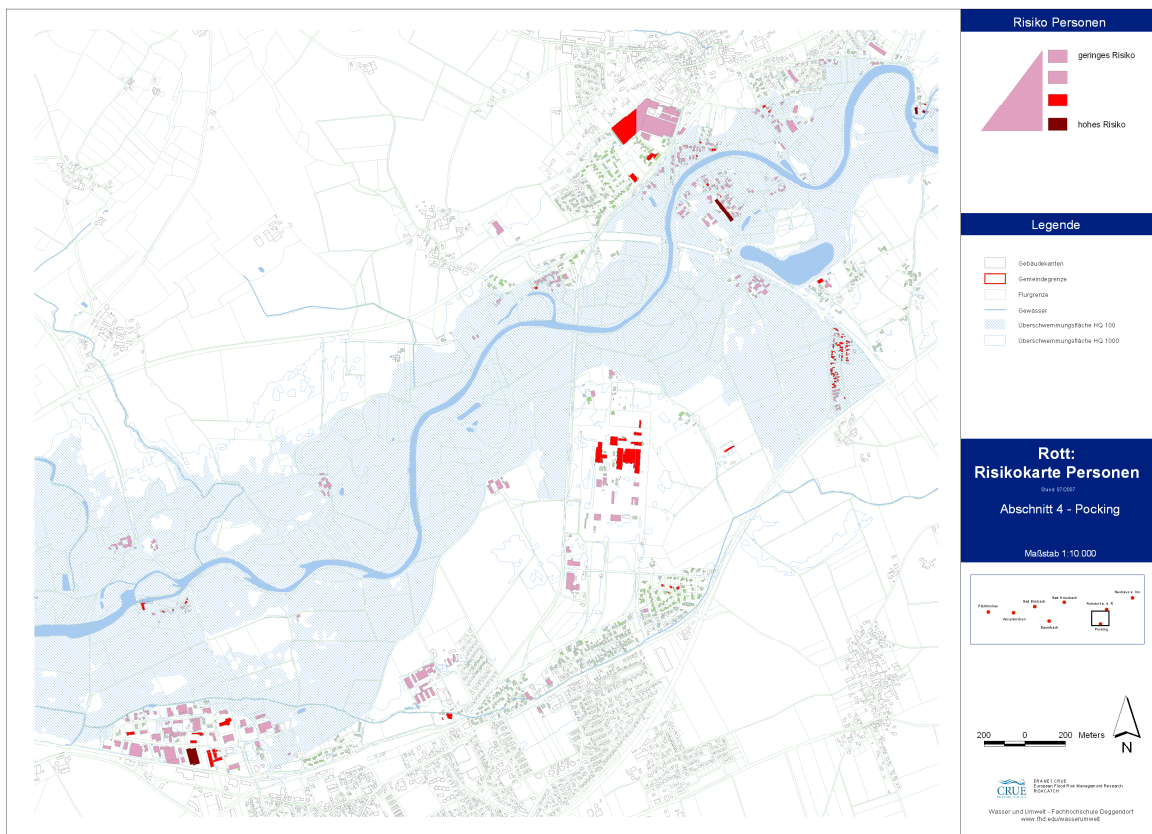
Carte n°14



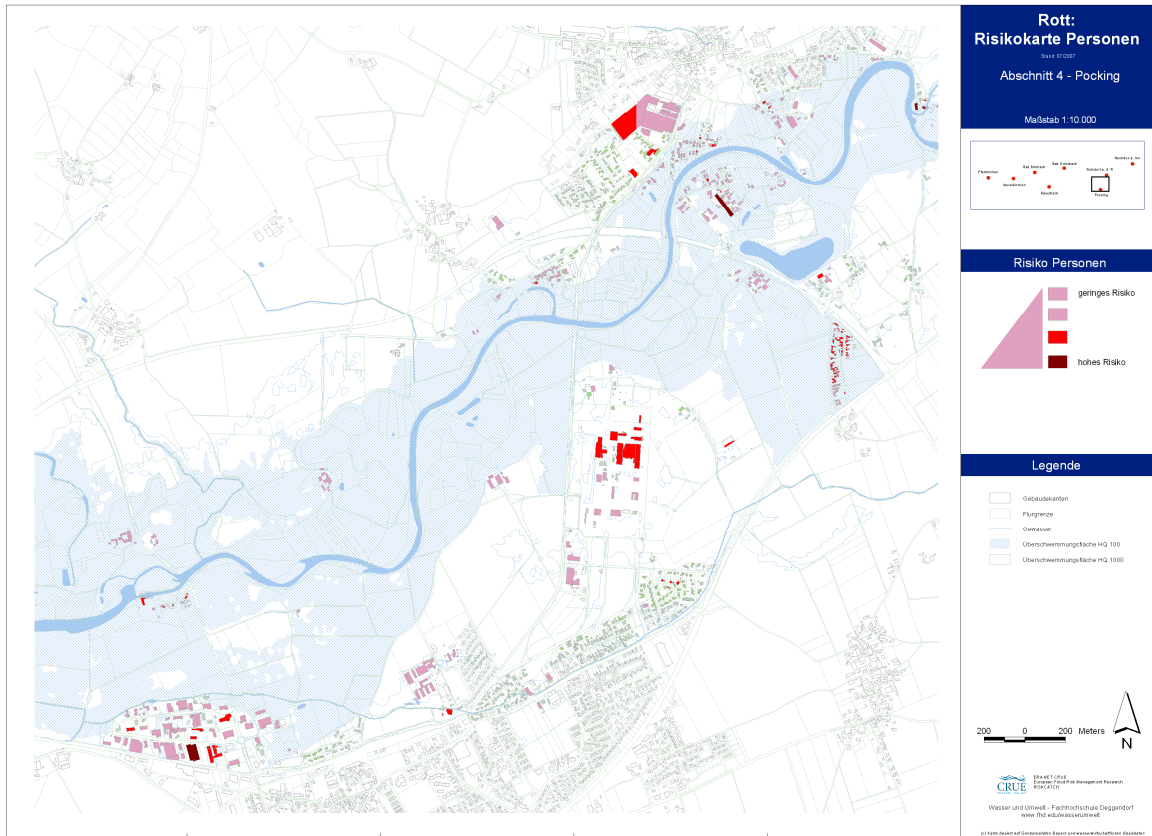
Carte n°15



Carte n°16



Carte n°17



Annexe n°7 :

Enquête cognitive

ERA-NET CRUE Funding Initiative

***Development of Flood Risk in Mountain Catchments
and Related Perception - RISKCATCH***

*Sven Fuchs, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna (A)
Wolfgang Dorner, Karl Spachinger, University of Applied Sciences, Deggendorf (D)
Kamal Serrhini, Juliette Rochman, Aude Bignard, UTC, Université de Tours UMR CITERES, Tours (F)*

ENQUETE COGNITIVE

Perception visuelle de cartes du risque d'inondation

CHU Bretonneau
TOURS, 19 octobre 2007

I. Etat civil

Sexe : ☐ féminin ☐ masculin
 Nationalité : ☐ Allemand ☐ Autrichien ☐ Français ☐ Autre :
 Tranche d'âge : ☐ 20-30 ☐ 30-40 ☐ 40-50 ☐ 50-60 ans

Quel est votre niveau d'études le plus élevé ?

.....

Activité professionnelle : ☐ Flu (décideur)
☐ Fonctionnaire
☐ Chercheur ou enseignant
☐ Autres :

II. Utilisation des cartes

A. Fréquence d'utilisation des cartes dans votre activité professionnelle ?

Moins d'une fois par an	Une fois par an	Une fois par mois	Une fois par semaine	Plus d'une fois par semaine
----------------------------	-----------------	----------------------	-------------------------	--------------------------------

B. Les cartes utilisées dans votre activité professionnelle sont :

☐ Généralement réalisées par vous
☐ Généralement réalisées par votre équipe ou service
☐ Généralement réalisées par des unités externes
☐ Seulement issues de sources externes
☐ Autres :

C. Dans votre profession, les cartes sont principalement:

☐ Une illustration
☐ Un outil de recherche
☐ Un outil de décision
☐ Autres :

III. Pour chacune des cartes ci-dessous :



Complexe :

Facile		Difficile	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Qu'avez vous compris du message de la carte ?

Densité d'informations :

Faible		Fort	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Innovante :

Faible		Fort	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Esthétique :

Faible		Fort	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Autres commentaires :

Intérêt décisionnel :

Faible		Fort	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Complexe :

Facile Difficile

--	--	--	--	--

Densité d'informations :

Faible Fort

--	--	--	--	--

Innovante :

Faible Fort

--	--	--	--	--

Esthétique :

Faible Fort

--	--	--	--	--

Intérêt décisionnel :

Faible Fort

--	--	--	--	--

Qu'avez-vous compris du message de la carte ?

--

Autres commentaires :

--



Complexe :

Facile Difficile

--	--	--	--	--

Densité d'informations :

Faible Fort

--	--	--	--	--

Innovante :

Faible Fort

--	--	--	--	--

Esthétique :

Faible Fort

--	--	--	--	--

Intérêt décisionnel :

Faible Fort

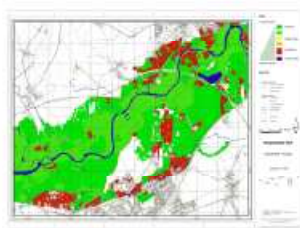
--	--	--	--	--

Qu'avez vous compris du message de la carte ?

--

Autres commentaires :

--



Complexe :

Facile Difficile

--	--	--	--	--

Densité d'informations :

Faible Fort

--	--	--	--	--

Innovante :

Faible Fort

--	--	--	--	--

Esthétique :

Faible Fort

--	--	--	--	--

Intérêt décisionnel :

Faible Fort


--	--	--	--	--

Qu'avez vous compris du message de la carte ?

--

Autres commentaires :

--



Complexe :

Facile
Difficile

Densité d'informations :

Faible
Fort

Innovante :

Faible
Fort

Esthétique :

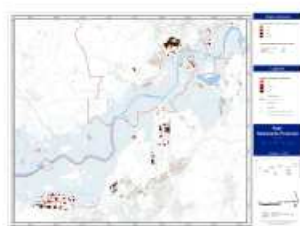
Faible
Fort

Intérêt décisionnel :

Faible
Fort

Qu'avez-vous compris du message de la carte ?

Autres commentaires :



Complexe :

Facile Difficile

--	--	--	--	--

Densité d'informations :

Faible Fort

--	--	--	--	--

Innovante :

Faible Fort

--	--	--	--	--

Esthétique :

Faible Fort

--	--	--	--	--

Intérêt décisionnel :

Faible Fort

--	--	--	--	--

Qu'avez vous compris du message de la carte ?

--

Autres commentaires :

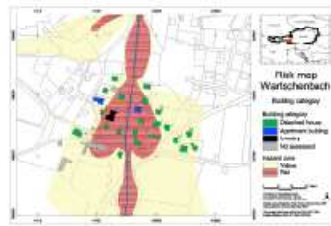
--

IV. Comparaisons de cartes :

A. Pour cartographier « *Building category* », préférez-vous la légende à droite ou à gauche ?

Légende :

À droite


☐

À gauche


☐

Pourquoi ?

- ☐ Facile à lire (habitudes de lectures de cartes...)
- ☐ Appropriée pour communiquer un message à un large public (population, décideurs, chercheurs...)
- ☐ Innovante car différente des cartes généralement utilisées dans mon activité professionnelle
- ☐ Autres :

B. Quelle carte préférez-vous en termes de positions du titre et de simplifications de la légende et du quadrillage ?

Quadrillage


☐

Légende
détailée

Titre en bas


☐

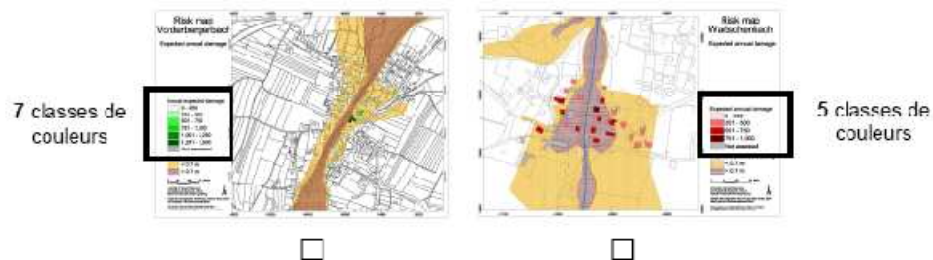
Titre en haut

Légende
simplifiée

Pourquoi ?

- ☐ Facile à lire (habitudes de lectures de cartes...)
- ☐ Appropriée pour communiquer un message à un large public (population, décideurs, chercheurs...)
- ☐ Innovante car différente des cartes généralement utilisées dans mon activité professionnelle
- ☐ Autres :

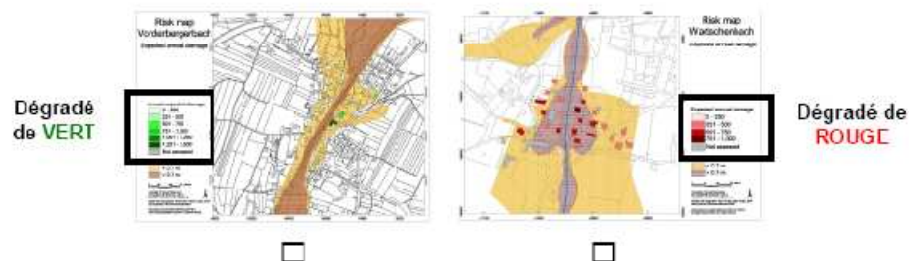
C. Pour les légendes « *Expected annual damage* » ci-dessous, préférez-vous 7 ou 5 classes de couleurs ?



Pourquoi ?

- ☐ Facile à lire (habitudes de lectures de cartes...)
- ☐ Appropriée pour communiquer un message à un large public (population, décideurs, chercheurs...)
- ☐ Innovante car différente des cartes généralement utilisées dans mon activité professionnelle
- ☐ Autres :

D. Pour les légendes « *Expected annual damage* » ci-dessous, préférez-vous un dégradé de rouge ou de vert ?

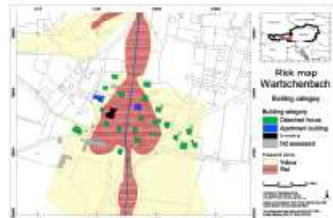


Pourquoi ?

- ☐ Facile à lire (habitudes de lectures de cartes...)
- ☐ Appropriée pour communiquer un message à un large public (population, décideurs, chercheurs...)
- ☐ Innovante car différente des cartes généralement utilisées dans mon activité professionnelle
- ☐ Autres :

E. Pour les cartes du risque d'inondation ci-dessous, préférez-vous une restitution graphique au 1/2500 ou au 1/5000 ?

Échelle : 1 / 2 500
(1 cm sur carte – 25 m sur le terrain)



1 / 5 000
(1 cm sur la carte – 50 m sur le terrain)



Pourquoi ?

- ☐ Facile à lire (habitudes de lectures de cartes...)
- ☐ Appropriée pour communiquer un message à un large public (population, décideurs, chercheurs...)
- ☐ Innovante car différente des cartes généralement utilisées dans mon activité professionnelle
- ☐ Autres :

F. Pour cartographier « Expected annual damage », quel arrière plan préférez-vous ?

Background : Cadastre



Ortho photographie couleur



Ortho photographie infra rouge



Pourquoi ?

- ☐ Facile à lire (habitudes de lectures de cartes...)
- ☐ Appropriée pour communiquer un message à un large public (population, décideurs, chercheurs...)
- ☐ Innovante car différente des cartes généralement utilisées dans mon activité professionnelle
- ☐ Autres :

Annexe n°8 :

Liste des personnes ayant participé aux
tests d'enregistrement des mouvements
oculaires

Ordre de passage	Nom –prénom	Catégorie
Autrichiens		
1	Fuchs Sven	Spécialiste
2	Keiler Margreth	Initié
3	Weber Christian	Spécialiste
4	Weber Elisabeth	Témoin
5	Gruber Harald	Spécialiste
6	Stanzer Monika	Témoin
Allemands		
7	Spachinger Karl	Spécialiste
8	Heindl Gariele	Témoin
9	Ertl Maximilian	Initié
10	Panzirsch Michele	Témoin
11	Dorner Wolfgang	Spécialiste
12	Hagemeier Maria Beata	Initié
13	Merz Gabriele Herta	Spécialiste
14	Schiessl Werner Aloisius	Initié
Français		
15	Martouzet Denis	Initié
16	Baptiste Hervé	Initié
17	Bois Nathalie	Témoin
18	Larribe Sebastien	Initié
19	Burel Béatrice	Témoin
20	Ducrocq Jessica	Témoin
21	Sellami Louisa	Témoin

Références bibliographiques

Mise en forme inspirée de la norme AFNOR Z 44050 de 1983. Les prénoms des auteurs sont précisés autant que possible.

Cette liste comprend les références bibliographiques (documents et ouvrages cités dans le texte), classées selon l'ordre alphabétique des auteurs, et pour un même auteur, selon la date de publication.

BACCINO Thierry et COLOMBI Teresa, 2001 « L'analyse des mouvements des yeux sur le web », in *Les Interactions Homme-Système : perspectives et recherches psycho-ergonomiques*, Paris : Hermès, Editions A.VomHofe, pp.127-148.

BACCINO T., 2002, « Oculométrie Cognitive », in *Dictionnaire des Sciences Cognitives*, Paris, Armand Colin, pp. 100-101.

BEGUIN Michèle, PUMAIN Denise, 1994. - La représentation des données géographiques. Paris:Armand Colin. 192p.

BERTALANFFY Ludwig Von, 1973, « Théorie générale des systèmes ». - Paris : Dunod. - 296 p.

BERTIN Jacques, 1967, « Sémiologie graphique », Paris-La Haye : Mouton, Paris : Gauthier-Villars. - p.73.

BERTIN Jacques, 1977, « La graphique et le traitement graphique de l'information », Collection Nouvelle Bibliothèque Scientifique, sous la Direction de Fernand Braudel, Flammarion, Paris. - 277 p.

BRODERSEN Lars, ANDERSEN H.K. Hans et WEBER Steen, 2001, "Applying eye-movement tracking for the study of map perception and map design", National Survey and Cadastre, Denmark, p.13.

BROSSARD Thierry, 1987. - « Paysage visible et simulation numérique ». - Bulletin de l'association de géographes français, France (Paris), vol.°2. - p. 163-174.

BRUNET Roger, 1986. - « La carte - modèle et les chorèmes ». - Mappemonde, France, n°4. - p. 2-6.

CHESNEAU Elisabeth, « Propositions pour une cartographie du risque », in Revue du Comité Français de Cartographie, n°181, Septembre 2004. - p. 55-70.

T. DUCHOWSKI Andrew, 2002, "A Breadth-First Survey of Eye Tracking Applications", Department of Computer Science, Clemson University, Duchowski. - Springer-Verlag.

GARRY Gérald, « Evolution et rôle de la cartographie dans la gestion des zones inondables en France », Paris, Ministère de l'Équipement, des transports et du tourisme, Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme, Villes et Territoires, Mappemonde 4/1994, p.10.

HOFMANN Catherine, « L'enluminure des cartes et des atlas imprimés XVIe – XVIIIe siècle » - Bulletin du Comité Français de Cartographie, France, Bulletin n°159, Paris : CFC, 1999, p.36

LARMANDE P., LARMANDE A., 1989. - Neuro-ophtalmologie. - Paris : Masson (Collection Abrégés de médecine). - p. 142-143.

LEVY Jacques et LUSSAULT Michel, 2003. - Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés. Belin.

MARY Christine, 1999, « Le photo-oculographe : outil d'analyse chez les personnes atteintes de dégénérescence maculaire liée à l'âge », D.U. Techniques de compensation du handicap visuel, Paris (Université René Descartes - Faculté de Médecine Cochin-Port-Royal), p. 36.

Ministère de l'Environnement, G.I.P. Hydrosystème en partenariat avec l'E.P.A.L.A. « Études des conséquences potentielles de simulations de fortes crues de la Loire sur les réseaux de transports ». Rapport intermédiaire - [1998-99]. RIO.

Ministère de l'Aménagement de Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, « Plans de prévention des risques naturels PPR. Risques d'inondation. Guide Méthodologique », 1999, Paris, La Documentation Française. - 123 p.

PELLETIER Monique, 1995. - « Formation et missions de l'ingénieur géographe militaire au XVIIIe siècle ». - p. 73. - in Colloque européen « La cartographie topographique », Paris, 29 et 30 octobre 1992. - Paris : C.T.H.S. - 283 p.

POTTIER Nathalie, VEYRET Yvette, De RICHEMOND Nancy Meschinet, HUBERT Gilles, RELIANT Claire et DUBOIS-MAURY Jocelyne, 2002. - « Évaluation de la Politique publique de prévention des risques naturels ». - in Risques naturels et aménagement en Europe, Actes colloque 22-24 Oct. 2002, Édition Armand Colin. - p. 51.

SCHNEIDER Emmanuel, « Améliorer la Compréhension des Processus Dynamiques avec des Animations Interactives », Thèse de Doctorat, Mention Psychologie, Université de Bourgogne, p.83.

SERRHINI K. - « Évaluation de l'impact et de l'insertion de projets d'aménagement dans le paysage », in 19^e Conférence Internationale de Cartographie, 16-21 août 1999, Ottawa, Tome 2, p. 1639-1646.

SERRHINI K. - Évaluation spatiale de la covisibilité d'un aménagement. Sémiologie graphique expérimentale et modélisation quantitative. - Thèse de doctorat : Aménagement de l'espace et Urbanisme. - Tours : laboratoire du CESA, 2000. - 481 p.

SERRHINI Kamal - « Sémiologie graphique expérimentale : cas des cartes de l'impact visuel d'un aménagement ». - in 5^e rencontres de Théo Quant, Besançon, 22 et 23 février 2001. - 19p. (Actes sur CD-ROM).

SERRHINI K. - « Intégration quantitative et multicritère du paysage lors de la détermination de tracés d'un aménagement linéaire ». - in Mappemonde, n°61, mars 2001, Édition GIP RECLUS, p. 15-18.

SERRHINI K. - « Nouvel algorithme de covisibilité ». - *in* Revue Internationale de Géomatique, Édition Hermès, volume 12, n°1, juin 2002, p. 27-48.

SERRHINI K. - « Covisibilités statique et dynamique comparées ». - *in* Réseaux et graphes, utilisations, représentations et extensions - Philippe Mathis (sous la direction de), Édition Hermès, 2003, 25 p.

Autres références bibliographiques :

Rapport ERA-Net CRUE, Intitulé du projet conjoint de recherche : Development of flood risk in mountain catchments and related perception (RISKCATCH), Intitulé de la proposition française : Sémiologie graphique expérimentale et cartographie du risque d'inondation (SGE), 2008

<http://www.metrovision.fr/>

http://www.unice.fr/LPEQ/pagesperso/thierry/Publications/Oculometrie%20Cognitive_files/frame.htm

http://www-clips.imag.fr/geod/User/jean.caelen/Publis_fichiers/Oculometrie.pdf.

LEXIQUE

Aléa : L'aléa est un concept relativement récent, emprunté au concept des probabilités. Au sens restreint, il désigne la probabilité d'occurrence d'un phénomène. Il est fonction de l'intensité du phénomène, de son occurrence, mais aussi de la durée considérée, et de l'espace pris en compte.⁹⁷

Carte d'aléas : Carte qui définit, d'une part la nature de l'aléa, et d'autre part ses degrés d'occurrence.

Carte d'enjeux : Carte qui représente et positionne des données affectées par un risque (biens, activités ou zones sur lesquelles l'homme est présent).

Carte de vulnérabilité : Pour un aléa donné, carte qui représente la capacité de certaines composantes (biens et personnes) à résister au phénomène.

Enjeux : Ce sont les données affectées par le risque : les hommes, leurs biens, et les milieux dans lesquels ils vivent. Cette palette des enjeux varie selon la nature des aléas. Pour chaque enjeu reconnu est établie une évaluation des dommages en fonction des niveaux d'aléa.⁹⁸

Inondation : L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau.⁹⁹

PPR (Plan de Prévention des Risques) : Document réalisé par l'Etat qui régit l'utilisation des sols en fonction des risques naturels auxquels ils sont soumis. Cette réglementation va de l'interdiction de construire à la possibilité de construire sous certaines conditions. Institué par la loi du 2 février 1995, le PPR se substitue aux documents antérieurs, dans un objectif de simplification et de clarification de la réglementation en la matière.¹⁰⁰

PPRI (Plan de Prévention des Risques d'Inondation) : Il s'agit d'un PPR relatif au phénomène d'inondation. En fonction de l'aléa retenu, le PPRI définit les secteurs susceptibles d'être inondés, donc les enjeux.

Risque (naturel) : Le risque se caractérise par le résultat de la combinaison d'un aléa et d'une vulnérabilité :

$$\text{Risque} = \text{aléa} * \text{vulnérabilité}^{101}$$

⁹⁷ DAUPHINE André, « Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer. » - Armand Colin, Paris, 2001, pp. 16-20.

⁹⁸ Ibid., pp 16-20.

⁹⁹ Document d'information édité par le ministère de l'Écologie et du Développement durable, direction de la Prévention des pollutions et des risques, sous-direction de la Prévention des risques majeurs, août 2004, http://www.prim.net/professionnel/documentation/dossiers_info/nat/low/inondation.pdf, p 5.

¹⁰⁰ DUBOIS-MAURY Jocelyne, « Problèmes politiques et sociaux » dossier n°908 janvier 2005. – « Les risques naturels et technologiques ». La documentation française – p. 116.

¹⁰¹ DUBOIS-MAURY Jocelyne, CHALINE Claude, 2002. – « Les risques urbains ». Armand Colin. – p. 11.

Le risque relève aussi de représentations sociales qui ne prennent pas racine dans la sphère scientifique et donc peuvent dépendre, en parti, les seuils d'acceptabilité.¹⁰²

Risque d'inondation : Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'homme qui s'installe dans l'espace alluvial pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités.¹⁰³

Risque majeur : Risque caractérisé par une faible fréquence et un énorme gravité (nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement).¹⁰⁴

Vulnérabilité : La vulnérabilité a souvent été caractérisée par la combinaison des dommages potentiels et la capacité du bien à résister à l'aléa.

La première approche mesure un endommagement potentiel des biens et des personnes et ses répercussions sur l'environnement économique ; la deuxième traduit la fragilité d'un système dans son ensemble, et de manière indirecte sa capacité à surmonter la crise provoquée par un aléa.¹⁰⁵

¹⁰² DUBOIS-MAURY Jocelyne, « Problèmes politiques et sociaux » dossier n°908 janvier 2005. – « Les risques naturels et technologiques ».La documentation française – p. 9.

¹⁰³ Ministère de l'Écologie et du Développement durable, op.cit., p 5.

¹⁰⁴ DUBOIS-MAURY Jocelyne, op.cit., p.116.

¹⁰⁵ DAUPHINE André, op.cit., pp 16-20.

Table des figures

Figure 1 : GDP/Inh (en euros) en 2000	15
Figure 2 : Explorations visuelles sous consignes d'un "texte"	17
Figure 3 : Schématisation de trajectoires oculaires en fonction des questions posées aux participants	24
Figure 4 : Montage du video-oculographe	31
Figure 5 : Video-oculographe du CHU de Tours	32
Figure 6 : Fréquence d'utilisation des cartes par les sujets testés dans leur activité professionnelle	39
Figure 7 : Provenance des cartes utilisées dans l'activité professionnelle des sujets testés.....	40
Figure 8 : Utilisation faite des cartes.....	40
Figure 9 : Corrélation entre densité d'informations et complexité	42
Figure 10 : Evaluation moyenne de l'innovation, l'esthétique et l'intérêt décisionnel pour chacune des 6 cartes du risque d'inondation présentées dans la partie II de l'enquête cognitive, classées par niveau de complexité. La droite verticale en pointillée sépare les trois premières et les trois dernières cartes selon leur niveau de complexité. La droite horizontale en pointillée indique le centre de l'échelle d'évaluation.....	43
Figure 11 : Moyenne du nombre de fixations par carte	48
Figure 12 : Durée moyenne des fixations par carte.....	49
Figure 13 : Moyenne du nombre de saccades par carte	50
Figure 14 : Amplitude moyenne des saccades par carte	51
Figure 15 : Moyenne de fixations par groupe et par carte.....	52
Figure 16 : Durée moyenne des fixations par groupe et par carte.....	53
Figure 17 : Répartition du nombre de saccades selon leur direction (droite ou gauche)	54
Figure 18 : Mouvements oculaires développés pour la lecture du titre et de la légende.....	56
Figure 19 : Mouvements oculaires distribués selon un axe vertical ou presque	57
Figure 20 : Mouvements oculaires distribués selon un axe diagonal.....	57
Figure 21 : Visualisation des titres dans les 10 premières secondes	58
Figure 22 : Vitesse de visualisation des titres	58
Figure 23 : Visualisation non systématique des titres	59
Figure 24 : Absence de fixations dans les espaces vides entre titre et légende.....	59
Figure 25 : Importance de la lecture de la légende.....	60
Figure 26 : Attirance du regard par des éléments colorés	61
Figure 27 : Effet couleur des cartes.....	63
Figure 28 : Effet contraste des cartes	63
Figure 29 : Influence du contraste entre fond de carte et information contenue.....	64
Figure 30 : Visualisation équilibrée de la légende et de la carte par les spécialistes	65
Figure 31 : Cas exceptionnel de C. Weber.....	66
Figure 32 : Attention accrue portée à la lecture de la légende	67
Figure 33 : Identification des éléments de la carte grâce à la légende	68
Figure 34 : Un premier type de comportement visuel des témoins.....	69
Figure 35 : Un deuxième type de comportement visuel des témoins.....	69

Figure 36 : Répartition plus équilibrée des fixations entre l'élément central de la carte et la légende	70
Figure 37 : Analyse dynamique de la carte 1	72
Figure 38 : Rôle attractif du titre	73
Figure 39 : Comparaison de cartes avec ou sans espace vide entre titre et légende	73
Figure 40 : Résultats de l'analyse sectorielle de la carte 1 pour le sujet K. Spachinger	74
Figure 41 : Dispersion du regard avec un fond de carte foncé	75
Figure 42 : Dispersion du regard moins prononcé pour un arrière plan aérien	76
Figure 43 : Délimitation de zones d'intérêt sur la carte 4	76
Figure 44 : Répartition des fixations sur les zones d'intérêt des cartes 4 et 6	77
Figure 45 : Délimitation de zones d'intérêt sur la carte 7	77
Figure 46 : Répartition des fixations sur les zones d'intérêt des cartes 7 et 9	77
Figure 47 : Concentration des fixations sur les éléments contrastés de la carte 13	78
Figure 48 : Importance du cartouche de couleur de la carte 11	78
Figure 49 : Influence des couleurs dans le processus de fixation	79
Figure 50 : Influence de l'allègement du cartouche de couleur sur les fixations	79

Table des schémas

Schéma 1 : Modèle linéaire de la Sémiologie Graphique Classique.....	13
Schéma 2 : Modèle de la Sémiologie Graphique Expérimentale.....	18
Schéma 3 : Processus de sélection et d'élaboration des cartes test.....	30
Schéma 4 : Organigramme des cartes testées.....	34
Schéma 5 : Schémas de lecture des légendes	62
Schéma 6 : Ordre des éléments regardés sur une carte	80
Schéma 7 : Représentation schématique de la carte qui aurait le plus satisfait nos candidats.	85
Schéma 8 : Stratégie visuelle correspondant à la représentation schématique	86

Table des tableaux

Tableau 1 : Liste des indicateurs oculaires établie par Goldberg & Schryver (1995).	28
Tableau 2 : Série 1. Building catégorie	34
Tableau 3 : Série 2. Dommages totaux.....	35
Tableau 4 : Série 3. Dommages annuels	35
Tableau 5 : Série 1. Zones touchées par le risque d'inondation.....	35
Tableau 6 : Série 2. Personnes touchées par le risque.....	35
Tableau 7 : Résumé des réponses de la Partie II de l'enquête cognitive (total de points par carte).....	41
Tableau 8 : Résumé des réponses à l'enquête cognitive (moyennes par carte et par groupe) .	44
Tableau 9 : Résumé des préférences des différentes catégories de candidats.....	45
Tableau 10 : Correspondance du nombre de saccades gauche et droite avec la position de la légende	54
Tableau 11 : Synthèse des résultats obtenus par l'analyse sectorielle	74
Tableau 12 : Résumé des préférences sémiologiques des différentes catégories de candidats	81

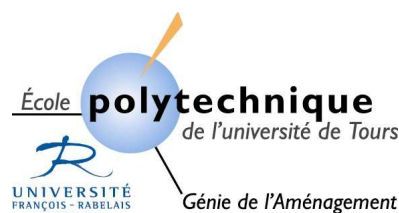
Table des matières

SOMMAIRE	2
REMERCIEMENTS	4
AVANT-PROPOS	5
INTRODUCTION GENERALE	7
CADRE DE L'ETUDE	9
PARTIE I - UNE PRISE EN COMPTE NOUVELLE DE LA PERCEPTION COGNITIVE EN CARTOGRAPHIE	10
CHAPITRE 1: LA PLACE DE LA CARTOGRAPHIE EN AMENAGEMENT	10
Section 1 - <i>La cartographie à travers l'histoire</i>	10
Section 2 - <i>L'utilisation faite des cartes de nos jours</i>	11
CHAPITRE 2: LES INSUFFISANCES DE LA SEMIOLOGIE GRAPHIQUE CLASSIQUE DANS LA CONCEPTION DES CARTES	13
Section 1 - <i>La conception de cartes en sémiologie graphique classique</i>	13
A- Le modèle linéaire de la Sémiologie Graphique classique	13
B- Quelques recommandations de la Sémiologie Graphiques	14
Section 2 - <i>Les insuffisances de la sémiologie graphique classique</i>	14
Section 3 - <i>Les limites des règles de la SG face à la perception anthropique et iconique</i>	16
CHAPITRE 3: VERS UNE NOUVELLE CONCEPTION DES CARTES A L'AIDE DE LA SEMIOLOGIE GRAPHIQUE EXPERIMENTALE	19
Section 1 - <i>L'oculométrie cognitive et ses débuts</i>	19
Section 2 - <i>Quelques travaux récents sur la perception cognitive et sur l'oculométrie</i>	23
Section 3 - <i>Les mouvements oculaires à l'origine des stratégies visuelles</i>	25
A- Existence de stratégies de lecture.....	25
B- Les mouvements oculaires responsables des stratégies de lecture	26
PARTIE II - PERCEPTION COGNITIVE DE LA CARTOGRAPHIE DES RISQUES D'INONDATION	29
CHAPITRE 1: CONTEXTE DU TRAVAIL DE RECHERCHE	29
Section 1 - <i>Les étapes de la recherche</i>	29
A- Étape n°1 : élaboration des cartes et du protocole expérimental	29
B- Etape n°2 : réalisation de l'approche SGE proprement dite.....	30
C- Etape n°3 : analyse, interprétation des résultats obtenus et recommandations.....	30
Section 2 - <i>Protocole expérimental</i>	31
A- Matériel utilisé	31
B- Sujets testés	32
C- Les cartes utilisées.....	33
D- L'enquête dite cognitive.....	36
E- Procédure des tests.....	36
CHAPITRE 2: UNE NOUVELLE APPROCHE DE LA SEMIOLOGIE GRAPHIQUE EXPERIMENTALE SUR LA PERCEPTION DES CARTES DU RISQUE D'INONDATION	38
Section 1 - <i>Exploitation des données de l'enquête dite cognitive</i>	38
A- L'utilisation des cartes parmi l'échantillon testé.....	38
B- Estimation de la qualité de chaque carte	41
Section 2 - <i>Analyse des travaux expérimentaux</i>	46
A- Analyse statistique	47
B- Analyse statique ou spatiale des mouvements oculaires.....	55
C- Analyse dynamique	71
D- Préférences des sujets en matière de sémiologie	81

CONCLUSIONS SUR LES DIFFERENTES ANALYSES ET RECOMMANDATIONS POUR LA CONCEPTION DE CARTES EFFICIENTES	83
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	129
LEXIQUE	132
TABLE DES FIGURES.....	134
TABLE DES SCHEMAS.....	136
TABLE DES TABLEAUX.....	137
TABLE DES MATIERES	138

CITERES
UMR 6173
Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés

Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement, Paysage,
Environnement



Département Aménagement
35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

Directeur de recherche :
Serrhini Kamal

Bignard Aude
Projet de Fin d'Etudes
DA5
2007-2008

Résumé : (250 mots environ)

Les documents d'urbanisme, les documents de communication ou bien encore les Chartes contiennent des cartes. Elles sont également utilisées dans la conception d'un projet d'aménagement, lors de leur intégration dans des études préalables au projet. Dans ce projet de fin d'étude, l'interrogation porte sur l'efficacité des cartes du risque d'inondation, sur le message perçu par ceux qui les lisent. L'utilisateur de ces cartes peut-il sans trop de difficulté s'approprier le message rendu par ces cartes ? Nous cherchons à déterminer les stratégies visuelles et cognitives des acteurs du territoire, à travers une nouvelle approche de la Sémiologie Graphique Expérimentale. Les différents acteurs n'ont pas les mêmes compétences en matière de cartographie et de connaissance du territoire. Il semble alors judicieux d'adapter les cartes en fonction des besoins et des attentes de chacun, pour une meilleure réactivité sur le terrain et une efficacité d'action. Il ne s'agit pas de remettre en cause dans ce rapport les règles de la Sémiologie Graphique Classique, mais bien d'apporter des recommandations lors de la conception des cartes du risque d'inondation.

Mots clés +mots géographiques

Projet Era-Net CRUE, risque d'inondation, perception visuelle et cognitive, cartes, cartographie, Allemagne, Autriche, France, Sémiologie Graphique Classique, Sémiologie Graphique Expérimentale, vidéo-oculographe.