

Projet de Fin d'Études

**Sémiologie graphique
expérimentale pour une
cartographie efficace du risque
d'inondation**



2008-2009

GENELOT Emilie

Directeur de recherche

SERRHINI Kamal

**Sémiologie graphique
expérimentale pour une
cartographie efficace du risque
d'inondation**

2008-2009

Directeur de recherche

SERRHINI Kamal

GENELOT Emilie

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.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

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.

REMERCIEMENTS

Je me joins à mon binôme, Maxime GRAZIANO, pour adresser tout d'abord nos plus chaleureux remerciements à notre directeur de recherche, Monsieur Kamal SERRHINI, pour ses conseils, sa disponibilité, et pour cette proposition de sujet qui se démarque pour son originalité et son orientation opérationnelle.

Je tiens également à remercier Madame Christine SERRHINI pour le temps qu'elle nous a offert et pour son aide technique sur le vidéo-oculographe. Merci également au service d'Explorations Fonctionnelles Ophtalmologiques et Strabologie de l'hôpital Bretonneau du CHRU de Tours pour son accueil et le prêt de son matériel.

Merci enfin à tous ceux qui accepté de se prêter à notre étude :

- Nos collègues étudiants du Département Aménagement :
 - CAVELIER Antoine, DA5
 - CHAUMET Aurélien, DA5
 - FAURE Anaël, DA5
 - LACLERGUE Alexia, DA5
 - MUNIER Jean, DA5
 - MIOLAND Christelle, DA3
- Des personnes « témoins » :
 - BERNARD Mathilde, élève en orthoptie
 - BOIS Nathalie, orthoptiste
 - BUREL Béatrice, orthoptiste
 - DOURESSAMY Antoinette, enseignante retraitée
 - HUET Karine, orthoptiste
 - LE HALPER Pascale, bibliothécaire
 - MARQUELET Mathilde, élève en orthoptie
 - ROBIN Pascaline, secrétaire
- Les techniciens et élus :
 - BAPTISTE Hervé, enseignant chercheur au DA
 - BUGUELLOU Jean Baptiste, chercheur à l'UMR CITERES
 - BOUCHAT Bérénice, rédacteur territorial: urbanisme - marchés publics - affaires foncières, services techniques de la Ville-aux-Dames
 - Le Capitaine PETIT-HERMELIN Michèle, Direction des Groupements Sapeurs-Pompiers, Groupement de la Prévention des Risques, Service Prévision, SDIS 37
 - CAPPELLE Olivier, directeur de l'aménagement et de l'urbanisme, services techniques de La Riche
 - GUIMAS Laurent, chercheur APERAU
 - POISSON Fabienne, Directrice de l'Urbanisme et des Marchés Publics, services techniques de Montlouis-sur-Loire
 - LEPERE Nathalie, service assurances, services techniques de La Riche
 - TOULAT Véronique, Direction des Groupements Sapeurs-Pompiers, Groupement de la Prévention des Risques, Service Cartographie, SDIS 37
 - TROUVE Denis, Directeur de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, services techniques de Montlouis-sur-Loire
 - SALAÛN Jean Michel, services techniques de La Riche
 - VOYER Carl, doctorant cartographe

SOMMAIRE

Avertissement.....	5
Formation par la recherche et projet de fin d'études.....	6
Remerciements.....	7
Avant-propos.....	11
Introduction générale.....	13
Cadre de l'étude.....	18
Partie 1 Les cartes dans la gestion du risque d'inondation : entre outil de communication et document règlementaire.....	20
A. Les acteurs de la gestion du risque d'inondation et leur rapport aux cartes.....	21
1. Les documents règlementaires.....	21
2. Les acteurs règlementaires.....	25
3. D'autres acteurs sont concernés directement par le risque d'inondation.....	28
B. Les cartes dans la directive "relative à l'évaluation et à la gestion des inondations" du 26 novembre 2007.....	30
Partie 2 Vers une amélioration des cartes : la sémiologie graphique expérimentale.....	38
A. Les limites de la sémiologie classique.....	39
1. Modèle linéaire / Modèle de la sémiologie graphique expérimental.....	39
2. Exemple de travail en sémiologie graphique expérimentale : travaux d'Elisabeth Chesneau sur l'amélioration automatique des couleurs, appliqués aux cartes de risques.....	40
B. L'oculométrie.....	42
1. Les utilisations de l'oculométrie : exemple de la mesure de l'Efficacité de la Visuo-Attention.....	42
2. Matériel utilisé : le vidéo-oculographe.....	43
3. Mouvements oculaires : saccades, fixations et poursuites.....	46
Partie 3 Protocole, résultats et interprétations.....	47
A. Protocole expérimental.....	48
1. Le choix des cartes.....	48
2. Le questionnaire de l'enquête cognitive (cf. annexes n°2).....	50
3. Le choix des sujets testés et leur typologie.....	51
4. Les enregistrements.....	54
5. L'extraction des données.....	56
B. Résultats et interprétations.....	58
Introduction.....	58
1. Des besoins différents en fonction du type de destinataires.....	59
2. Analyse des mouvements oculaires : quels sont les stratégies visuelles des sujets?.....	75
C. Recommandations en matière de cartographie.....	96
1. Recommandations générales.....	96
2. Une carte pour chaque destinataire.....	98
Conclusion générale.....	102

1. Schémas de synthèse des recommandations.....	102
2. Critique du travail effectué.....	103
Références Bibliographiques.....	104
Annexes.....	107
Annexes n°1 : Les cartes testées.....	107
Annexes n°2 : Le questionnaire.....	112
Table des figures	118
Table des tableaux.....	120

AVANT-PROPOS

Thème de la recherche : représentation et sémiologie graphique, perception et aide à la gestion des risques majeurs naturels

La carte est un instrument ancien qui est devenu omniprésent pour transmettre des informations dans de très nombreux domaines (routes, forêt, promenade, météo, relief, géopolitique, commerce, architecture)¹. Cette évolution est due au fait que les représentations visuelles sont particulièrement efficaces en aménagement-urbanisme car elles autorisent une lecture instantanée d'une image globale. La carte est donc un outil utilisé pour communiquer des informations localisées dans l'espace.

Or, quelles que soient les évolutions techniques, la carte n'en reste pas moins une fabrication qui implique des choix dans les informations à représenter et dans leur symbolisation. Ces choix ne se font pas de manière aléatoire mais répondent à des règles très spécifiques établies par Jacques Bertin et rassemblées sous le terme de « sémiologie graphique ». Michèle Béguin et Denise Pumain définissent celle-ci comme étant

*« l'ensemble des règles permettant l'utilisation d'un système graphique de signes pour la transmission d'une information. Le langage cartographique est une forme d'expression dont les signes graphiques élémentaires (le point, le trait, et le polygone) seraient l'alphabet, dont l'alphabet est fait de variables visuelles et dont la syntaxe est définie par les règles de la perception visuelle ».*²

Plus largement,

*« Le langage cartographique regroupe l'ensemble des moyens graphiques qui permettent de différencier, de comparer, d'ordonner, de mémoriser les informations transcrites sur le plan de la carte ».*³

Problème général : la pertinence des règles de sémiologie classique

Le langage cartographique doit donc être visuel, universel, clair et cohérent. Or, si la fabrication d'une carte implique une stricte application des règles établies, ces dernières permettront seulement de réaliser une carte sans erreur majeure en termes de sémiologie, mais pas forcément une bonne carte.

La carte est avant tout un **outil de communication**, qu'elle soit traitée comme un simple document de diffusion de l'information ou comme un argumentaire visant l'orientation d'une prise de décision. Sa capacité à être perçue par le destinataire, c'est-à-dire à être lue, comprise et interprétée dans un temps relativement court est donc primordiale.

1 CHESNEAU E., (2006), « Pour une amélioration automatique des contrastes colorés en cartographie : application aux cartes de risque », Résumé d'une thèse préparée à l'IGN et à l'Université de Marne-la-Vallée, 13 pages.

2 BEGUIN M., PUMAIN D., (1994), « La représentation des données géographiques », Armand Colin, 192 pages.

3 BRUNET M., WATELLE V., (2004), « Sémiologie graphique : Traiter et représenter l'information quantitative », Université d'Orléans, 3 pages.

« La carte, outil privilégié de la connaissance géographique, appartient au monde de l'image ; elle donne à voir l'information »⁴.

Nonobstant, nous pouvons remarquer que le destinataire (ou le futur lecteur) n'est que rarement pris en compte lors de la fabrication de la carte. Le **processus de réalisation** d'un document cartographique est toujours linéaire : du cartographe au destinataire. La **non intégration** de ce dernier, et donc l'absence de retour **bottom-up** ne permet pas au concepteur de pratiquer d'éventuelles améliorations.

Cette difficulté est perceptible notamment lors de l'emploi de la variable visuelle couleur. Elisabeth Chesneau a travaillé à l'amélioration automatique des contrastes colorés en cartographie en s'appuyant sur les cartes de risque. Elle est partie de l'hypothèse qu'une utilisation plus efficace de la couleur en améliorant notamment les contrastes pourrait rendre une carte plus lisible. Après analyse de la carte des risques (PPR), l'auteur considère que « le fond de carte trop dense et la nomenclature réduisent fortement la lisibilité de la carte ». De plus, le choix des couleurs des différents zonages ne traduit pas correctement la gradation du niveau de risque existante entre les types de zones. La sémiologie graphique et les normes nationales à suivre en matière de cartes réglementaires ne prennent donc pas en considération les différences de perception. C'est dans ce domaine que la sémiologie graphique montre aujourd'hui ses limites. La diversification des destinataires et les nouvelles capacités offertes par les outils informatiques, font que la sémiologie graphique classique doit aujourd'hui évoluer pour prendre en considération le destinataire.

Question générale : Comment améliorer les cartes, notamment celles liées au risque d'inondation ?

Dans ce contexte, il est donc légitime de se demander comment améliorer les cartes pour qu'elles deviennent des outils de communication plus efficaces.

En ce qui concerne les cartes traitant des risques, et plus particulièrement du risque d'inondation (d'aléas, d'enjeux, de risque, de vulnérabilité, etc.), qui respectent la sémiologie graphique, comment les adapter en fonction du type de destinataires pour qu'elles soient perçues, comprises et mémorisées par différentes catégories d'acteurs ?

⁴ LE FUR A., (2007), « Pratiques de la cartographie », Armand Colin, 2ème éd, 127 pages.

INTRODUCTION GENERALE

Comme nous l'avons indiqué en avant-propos, les cartes tiennent une place primordiale en aménagement, que ce soit lors de processus de conception d'espace, de diagnostic, d'établissement de plans d'intervention, etc.

*« La carte est un outil important pour connaître et gérer un espace géographique, communiquer des informations sur cet espace, agir, etc. Les métiers qui ont besoin de cet outil sont nombreux, leurs attentes sont diversifiées et désormais le monde numérique offre à tous ces utilisateurs de nouvelles possibilités permettant à chacun de créer et **d'utiliser des cartes selon ses besoins.** »⁵*

Elles sont tout particulièrement capitales dans le domaine de la gestion des risques. En effet, elles y tiennent un triple rôle :

- **réglementaire,**
- **d'aide à la décision,**
- **d'information.**

De plus, dans chacun de ces rôles, les cartes s'adressent à des **destinataires différents** :

- **techniciens** (urbanistes, aménageurs, etc.) pour les cartes règlementaires
- **politiques** en ce qui concerne l'aide à la décision,
- **population**, grand public, pour la diffusion de l'information.

Une même carte est donc souvent adressée à des destinataires très différents, et la non prise en compte de leurs différences ne peut que **nuire à son efficacité.**

Or, les cartes en général, et celles traitant du risque d'inondation en particulier, ont connu de grands bouleversements. En effet, d'une part leurs destinataires se sont multipliés et diversifiés, exigeant parfois une vulgarisation de l'information transmise par les cartes. Et d'autre part leur mode de fabrication, avec l'avènement de l'informatique et des logiciels CAO/DAO (Système d'Information Géographique), a complètement changé.

*« les outils techniques n'offrent pas d'aide à la conception cartographique parce que les principes issus des travaux de cartographes comme Bertin (1967) ne sont pas implémentés et que les besoins des utilisateurs ne sont pas spécifiés. La sémiologie graphique, telle que nous l'avons définie plus haut, doit donc s'adapter à ces changements. Pour cela, il lui faut **travailler expérimentalement sur la perception et la lisibilité des productions.** »⁶*

Problème spécifique : sémiologie graphique expérimentale des cartes liées au risque d'inondation

Les destinataires n'ont pas les mêmes aptitudes ni le même degré de lecture lorsqu'ils se trouvent face à une carte. Chacun aura donc un point de vue propre sur la lisibilité d'une

5 Elisabeth CHESNEAU, Huitièmes Rencontres de Théo Quant, Besançon, 10-12 janvier 2007, <http://thema.univ-fcomte.fr/theoq/pdf/2007/TQ2007%20ARTICLE%2061.pdf>

6 Ibid.

carte, que l'on peut définir comme suit : « Selon Joly (1994), « la lisibilité est la qualité d'une carte sur laquelle une information recherchée peut être facilement trouvée, distinguée parmi les autres et mise en mémoire sans effort » ». ⁷

Par exemple, le Plan de Prévention des Risque d'Inondation (PPRI) d'une commune est un document opposable aux tiers et doit donc être accessible à l'ensemble des citoyens. Cependant, tous ne possèdent pas la même aisance face aux cartes et surtout n'en attendent pas la même chose. Ainsi, un « simple citoyen » résidant de la commune chercherait avant tout à identifier l'emplacement de son bien et la zone dans laquelle il se situe ; alors que l'élu ou le technicien quand à lui chercherait à déterminer si les projets peuvent être envisagés sans contraintes techniques majeures du fait de leur éventuelle situation en zone inondable. L'échelle, la précision et le type des informations recherchées par le lecteur sont donc des éléments déterminants.

L'amélioration des cartes liées au risque d'inondation participe à l'élaboration de solutions opérationnelles répondant aux deux principaux objectifs du premier programme de recherche ERA-Net CRUE : la prise de conscience du risque et le renforcement de la participation du public d'une part, et la gestion de l'inondation d'autre part. En effet, la Directive Inondation

« définit comme outil de communication la publication obligatoire des cartes d'aléas et de risque puis dans un second temps celle des plans de gestion du risque d'inondation ». ⁸

De plus, « l'approche intégrée » voulue par le programme comprend, entre autres, « une information et des cartes améliorées sur le risque d'inondation pour informer et impliquer les citoyens » ⁹.

Notre PFE portera sur les différentes perceptions des cartes que peuvent avoir les acteurs concernés par le risque d'inondation. Notre travail se fera à partir de l'étude d'échantillons bien définis via la vidéo-occulométrie, complétée d'une analyse « cognitive ».

Questions spécifiques

Quelles sont les spécificités de la perception des catégories d'acteurs face à des cartes du risque d'inondation ? Quel est le degré de lecture (c'est-à-dire la capacité à percevoir, comprendre, mémoriser, etc.) de chaque type d'acteur concernant les cartes de prévention et de gestion de crise ? Cette recherche pourra dans un second temps conduire à l'énoncé de recommandations en matière d'élaboration de cartes de risques plus efficaces.

Hypothèses de recherche

Le contexte de l'étude et les différentes lectures (Handbook good practice¹⁰ notamment) nous ont permis d'élaborer plusieurs hypothèses. Notre travail portera sur la vérification de deux hypothèses principales :

⁷ Elisabeth CHESNEAU, Huitièmes Rencontres de Théo Quant, Besançon, 10-12 janvier 2007, <http://thema.univ-fcomte.fr/theoq/pdf/2007/TQ2007%20ARTICLE%2061.pdf>

⁸ Appel à projets conjoints de recherche ERA-Net CRUE « La résilience des territoires face aux inondations-Gérer les conséquences des inondations »

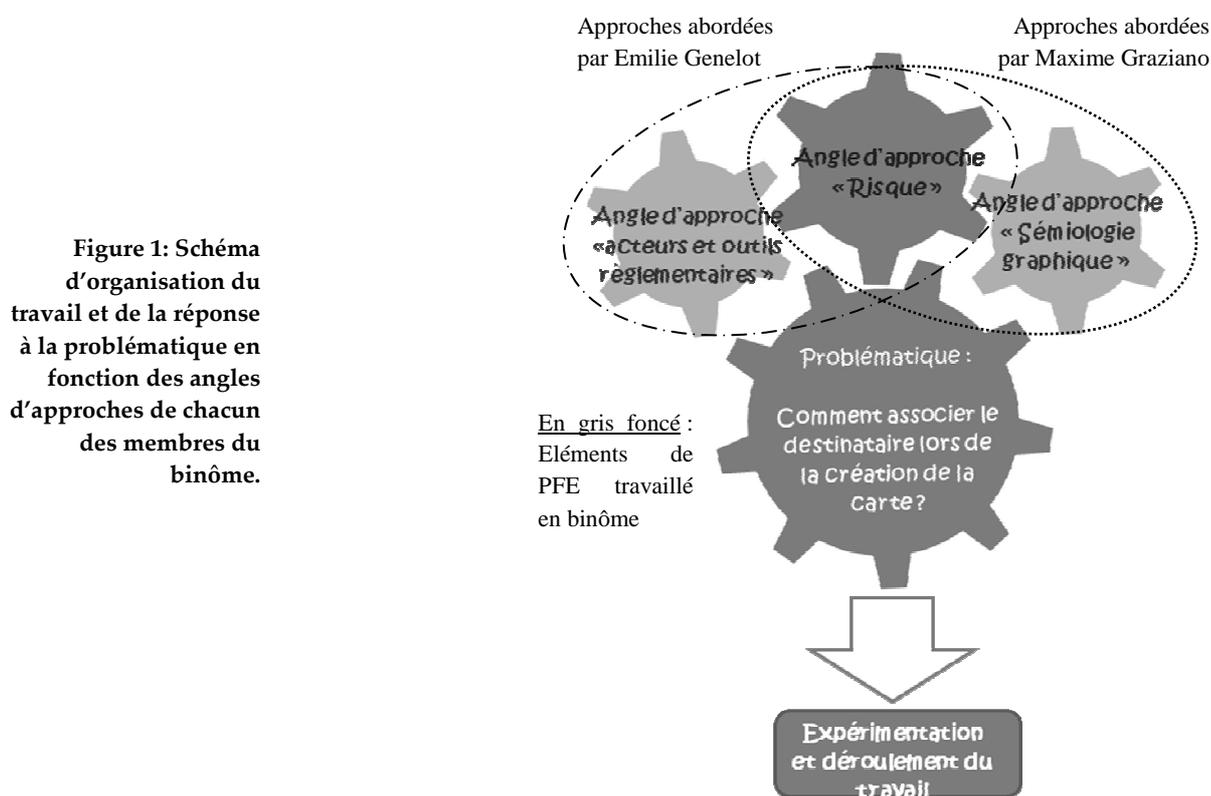
⁹ Ibid.

D'une part, nous supposons que chaque type de destinataire a son propre mode de perception des cartes liées au risque d'inondation. Chacun, en fonction de sa « culture des cartes » c'est-à-dire de son niveau de connaissances techniques et cartographiques, a son propre degré de lecture. Le niveau d'approfondissement différera lors des multiples phases d'appropriation de la carte (la perception visuelle, la compréhension, la mémorisation, l'analyse critique).

Partant de ce premier présupposé, nous estimons d'autre part, qu'il pourrait être nécessaire de construire des cartes adaptées au destinataire à qui l'on souhaite s'adresser. La sémiologie graphique doit aussi évoluer en fonction de la nature du message véhiculé par la carte : simple diffusion de l'information, outil de sensibilisation et de prévention, outil d'aide à la décision, ou outil opérationnel de gestion de crise.

Organisation du travail en binôme

Afin de répondre à la problématique, il sera important de prendre en compte **trois angles d'approche** : « risques », « acteurs et outils réglementaires » et « sémiologie graphique classique et expérimentale ».



L'imbrication de trois approches permettra à ce travail de donner une réponse cohérente à la problématique définie. Cette étude est basée sur deux recherches complémentaires effectuées l'une par Emilie Genelot et l'autre par Maxime Graziano.

En effet, si l'approche « risque » a été travaillée en binôme, chaque étudiant a développé un angle d'attaque particulier. Le lecteur de ce rapport trouvera les aspects concernant les acteurs concernés, directement ou indirectement, par le risque d'inondation, ainsi que

10 EUROPEAN EXCHANGE CIRCLE ON FLOOD MAPPING, (2007), « Handbook on good practices for flood mapping in Europe », 198 pages.

ceux concernant la carte en tant qu'outil de gestion du risque d'inondation. Il y sera bien entendu aussi évoqué des éléments de sémiologie graphique des cartes de risque. Cependant, cette approche sémiologique sera plus approfondie dans le travail de Maxime Graziano. Enfin, la partie expérimentation et analyse des résultats se fera en collaboration étroite entre les deux étudiants.

Le graphique ci-après détaille la participation de chacun des membres du binôme aux différentes étapes de réalisation de ce PFE.

Tableau 1 : répartition des tâches au sein du binôme.

		lectures	construction du plan	partie sémilogie Ecrit 1	partie acteurs	élaboration du protocole	1er oral	prise de rendez-vous	expérimentation	résultats/ interprétations	rédaction des résultats	écrit final	préparation oral	préparation oral	2ème oral	
semaine 1	15-sept															
semaine 2	22-sept															
semaine 3	29-sept															
semaine 4	06-oct															
semaine 5	13-oct															
semaine 6	20-oct															
semaine 7	03-nov															
semaine 8	10-nov															
semaine 9	17-nov															
semaine 10	24-nov															
semaine 11	01-déc															
semaine 12	08-déc															
semaine 13	15-déc															
semaine 14	05-janv															
semaine 15	12-janv															
semaine 16	19-janv															
semaine 17	26-janv															
semaine 18	02-févr															
semaine 19	09-févr															
semaine 20	16-févr															
semaine 21	23-févr															
semaine 22	02-mars															
semaine 23	09-mars															
semaine 24	16-mars															
semaine 25	23-mars															
semaine 26	30-mars															
semaine 27	06-avr															
semaine 28	13-avr															
semaine 29	04-mai															
semaine 30	11-mai															
semaine 31	18-mai															
semaine 32	25-mai															

	Travail effectué par Emilie Genlot
	Travail effectué par Maxime Graziano
	Travail effectué en binôme

CADRE DE L'ETUDE

La **Directive européenne 2007/60/CE du 23 octobre 2007** relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation impose de profonds changements dans la stratégie de prévention des inondations en Europe.

Pour répondre à ces exigences, elle induit la mise en place de réseaux d'échanges techniques entre les pays, sur des points nécessitant une coopération et un échange d'expérience pour assurer un progrès rapide des savoir-faire : **EXCIFF** sur l'annonce de crue en 2005, **EXCIMAP** pour la cartographie des inondations en 2006-2007, Groupe F (pour Flood) depuis 2007. Le réseau EXCIMAP (European Exchange Circle on Flood Mapping) a déjà produit un « Handbook on good practices for flood mapping in Europe » fin 2007 dans ce cadre, tandis que le réseau EXCIFF (European Exchange Circle on Flood Forecasting) a publié son « Good Practice for Delivering Flood-Related Information to the General Public ».

Au sein de ces deux groupes, l'importance d'un travail sur l'amélioration des cartes d'inondation est évidente, qu'il s'agisse de cartes assurant la communication entre chercheurs ou celles auprès du grand public. Notre travail se situe donc au cœur de cette thématique.

Notre travail se situe également dans le prolongement du programme de recherche **Era-Net Crue 1**.

Le but de l'action ERA-Net CRUE est de soutenir et de développer une coordination et une large intégration des programmes et des politiques de recherche (nationales, régionales et européennes) dans le domaine de la gestion du risque d'inondation. Il s'agit de disposer de la connaissance et de la compréhension nécessaires à une gestion durable des risques d'inondation dans les bassins hydrographiques et les plaines littorales.¹¹

La directive européenne inondation requiert en effet une estimation préliminaire du risque d'inondation, suivie par l'établissement de cartes d'aléa et de risque et finalement de plans de gestion du risque d'inondation. Les plans de gestion seront requis pour les bassins de rivières potentiellement dangereuses, les plaines littorales et les autres zones inondables dans les Etats Membres, pour 2015.

Il s'agit actuellement du second des deux appels à propositions de recherche pilotes que lance l'action de coordination ERA-Net CRUE. Cet appel a pour objectif de susciter des projets conjoints de recherche transnationaux sur un thème spécifique du domaine de la gestion du risque d'inondation intitulé : « **La résilience des territoires face aux inondations – Gérer les conséquences des inondations** ».

« Améliorer notre compréhension et notre capacité à communiquer sur le risque dans le cadre institutionnel est une problématique importante pour tous les décideurs impliqués

¹¹ ERA-Net CRUE, (2008), « La résilience des territoires face aux inondations – Gérer les conséquences des inondations », consultable sur le site : <http://www.crue-eranet.net>, 16 pages.

dans la gestion du risque d'inondation. Un défi particulier pour les **institutions gouvernementales** et les **autorités de l'eau** est le renforcement de la participation du public dans l'établissement des approches futures pour la gestion du risque d'inondation (cf. article 10 de la Directive Inondations). L'encouragement de la **participation du public** peut être un élément clé pour une « bonne gouvernance »¹².

Une communication sur le risque accrue aura un impact important sur la perception du risque. En retour, celle-ci apportera des changements au niveau de la préparation individuelle et pourra également affecter à moyen terme le développement spatial et économique dans les zones inondables. Ces changements potentiels sont d'un intérêt particulier pour les interventions locales et régionales de gestion du risque d'inondation, et notamment dans les zones densément peuplées où les dommages potentiels les plus importants se concentrent. Cependant, l'échelle du bassin devra être prise en compte puisque toute décision en matière de gestion du risque d'inondation peut influencer le risque dans les régions situées le long de la rivière. »¹³

Il est donc clair qu'un travail, tel que notre étude, visant une amélioration des cartes comme instrument de communication incontournable, correspond bien aux questions posées par certains points de cet appel à projet :

1. Prise de conscience du risque et renforcement de la participation du public

b. Comment peut-on **améliorer les cartes d'aléas et de risque** pour qu'elles deviennent un outil efficace de **communication** sur le risque ? Quelles données issues des analyses de l'aléa et de la vulnérabilité peuvent être utilisées pour initier un dialogue avec le public ?

e. Comment les institutions peuvent-elles progresser dans leur compréhension des approches, des outils et des techniques de communication du risque ? Comment cet apprentissage peut-il accroître l'efficacité de la communication au public (par l'intermédiaire d'un panel d'activités telles que la **cartographie**, l'aménagement ou la gestion de l'événement) ?

2. Gestion de l'inondation

2.1 Interaction entre les différents acteurs

a. Comment l'**interaction** entre les **différents acteurs** et le partage des responsabilités lors de la crise (autorités, équipes de secours, pompiers, services de secours, population affectée, etc.) peuvent-ils être améliorés ?

b. Comment optimiser la **communication** et la coordination en situation de crise (prévision, mesures d'alerte, canaux et outils d'information, interaction entre les acteurs et les systèmes techniques, responsabilités, clarté et compréhension, etc. ; en situation quasi normale mais aussi dans des situations complexes et inattendues) ?

2.2 Gestion de l'événement : Outils et Améliorations

b. A-t-on besoin d'**outils** et de techniques supplémentaires pour améliorer la gestion de l'événement ? Comment concevoir des outils et des systèmes techniques pour gérer la complexité ? Comment évaluer et estimer la capacité des outils et des systèmes techniques existants à faire face aux conditions des inondations à venir ?

12 La gouvernance est ici comprise comme un système de pilotage et de réglementation qui est représenté non seulement par les institutions gouvernementales mais également par les compagnies privées, les associations, les groupes d'intérêts, etc.

13 Appel à projets conjoints de recherche ERA-Net CRUE « La résilience des territoires face aux inondations - Gérer les conséquences des inondations »

PARTIE 1
LES CARTES DANS LA GESTION
DU RISQUE D'INONDATION :
ENTRE OUTIL DE
COMMUNICATION ET
DOCUMENT REGLEMENTAIRE

Comme cela a été évoqué en introduction, les cartes liées au risque d'inondation présentent plusieurs fonctions, mêlant communication, aide à la décision, et réglementation. Conçue par différents types d'acteurs, elles doivent également s'adresser à des publics divers. Nous allons préciser dans cette première partie au sein de quels documents de gestion du risque d'inondation les cartes jouent un rôle essentiel, et qui sont les principaux acteurs concernés par leur conception et leur utilisation. Nous verrons ensuite que la directive européenne « inondation » de 2007 va entraîner nombre de modifications en matière de cartographie, et va renforcer le pouvoir des cartes de gestion du risque d'inondation en Europe.

A. Les acteurs de la gestion du risque d'inondation et leur rapport aux cartes

1. Les documents réglementaires

a) Outil de maîtrise de l'urbanisation en zone inondable : le PPRI

Le PPRI est le principal outil réglementaire dont dispose l'Etat en matière de prévention des risques d'inondation (Articles L 562 du code de l'Environnement et Décret n°95-1089 du 5 octobre 1995).

Ce document est réalisé par les services déconcentrés de l'Etat (DDE ou DIREN), sur prescription du Préfet. Il a pour objectif de maîtriser les constructions dans les zones exposées au risque d'inondation, afin de prévenir le risque humain, les dommages aux biens et aux activités, et de préserver des champs d'expansion des crues en tant que besoin.

Le PPRI est arrêté par le Préfet après enquête publique et avis des conseils municipaux des communes concernées. Le PPRI approuvé est annexé au plan local d'urbanisme (PLU). Il vaut servitude d'utilité publique et son non-respect peut être sanctionné pénalement.

Le PPRI délimite :

- Des **zones de danger** (zones directement exposées au risque, dites également zones **rouges**) où, de manière générale, toutes constructions ou nouvelles installations sont interdites,
- Les **zones de précaution** (zones non directement exposées aux risques mais où des constructions pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux, dites également zones **bleues**), où les aménagements ou constructions sont autorisées sous contrainte de certaines prescriptions et interdictions.

Ces zones sont déterminées en fonction d'une crue de référence : la plus forte crue connue (PHEC), ou bien la crue centennale, si celle-ci est supérieure.

Le PPRI comprend également un **règlement**, qui définit les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde à appliquer dans chacune de ces zones (sous forme d'interdictions ou de prescriptions). Le PPRI peut ainsi recommander, ou même imposer des aménagements sur l'existant, c'est-à-dire sur les constructions, aménagements ou terrains agricoles existant dans les zones de danger ou de précaution avant la réalisation du document. Le coût de ces aménagements ne doit cependant pas dépasser 10% de la valeur du bien. Le PPRI peut également prescrire des mesures ayant pour objectif le

libre écoulement des eaux et la conservation, la restauration ou l'extension des champs d'inondation. Il peut de même prescrire aux particuliers des travaux de prévention des risques. Il peut encore définir des règles relatives aux réseaux et aux infrastructures publiques, afin de faciliter les évacuations ou l'arrivée des secours en cas d'inondation.

Certaines mesures peuvent être rendues obligatoires, en fonction de la nature et de l'intensité du risque, dans un délai de cinq ans, pouvant être réduit en cas d'urgence. A défaut de mise en conformité dans le délai prescrit, le préfet peut, après mise en demeure non suivie d'effet, ordonner la réalisation de ces mesures aux frais du propriétaire, de l'exploitant ou de l'utilisateur.¹⁴

Les cartes des PPRI sont donc opposables au tiers et interviennent à l'échelle communale. Leur rôle principal de zonage en matière d'occupation des sols leur confère un aspect contraignant qui n'est pas sans générer de nombreux conflits. En effet, une parcelle nouvellement inscrite en zone rouge perd à travers son inconstructibilité une valeur foncière considérable. Si les particuliers peuvent être touchés, il en va de même pour certains projets des municipalités, qui doivent parfois être revus : déplacement du projet ou mesures compensatoires plus ou moins lourdes (cf. exemple du remblaiement du quartier des 2 Lions).

b) Le Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM)

La **responsabilité de son élaboration revient au Maire**. Il contient les données locales, départementales et nationales nécessaires à l'information des citoyens au titre du droit à l'information. Il est donc **librement accessible** par toute personne en mairie et sa consultation ne fait l'objet d'aucune justification ni de redevance.

L'objectif de l'information préventive est de rendre le citoyen conscient des risques majeurs auxquels il peut être exposé. Informé sur les phénomènes, leurs conséquences et les mesures pour s'en protéger et en réduire les dommages, il sera ainsi moins vulnérable.

Elaboré à partir des informations disponibles transmises par le Préfet, il contient quatre grands types d'informations :

- la connaissance des risques naturels et technologiques dans la commune,
- les mesures prises par la commune, ses réalisations,
- les mesures de sauvegarde à respecter en cas de danger ou d'alerte,
- le plan d'affichage de ces consignes.

La forme du document, son aspect graphique, est laissée à l'appréciation du maire, mais les différentes informations doivent permettre de dresser un panorama des phénomènes recensés sur la commune et susceptibles d'entraîner des dommages. Pour cela, les zones à risque doivent être cartographiées dans le document final à la fois sous forme **d'une carte par risque et d'une carte générale**.

Le maire doit également recenser :

- l'ensemble des enjeux particuliers susceptibles d'être menacés, en particuliers les établissements recevant du public (ERP) et les bâtiments nécessaires à la gestion de la crise ;
- les mesures de prévention existantes :

¹⁴ Site Internet Prim.net

- prise en compte du risque dans l'urbanisme (PPR ou PLU),
- affichage du risque,
- plans particuliers de mise en sûreté,
- annonce de crue,
- plan communal de sauvegarde (PCS).

Le DICRIM doit enfin rappeler les consignes de comportement à adopter en cas de crise et signale les mesures de prévention accessibles aux particuliers.

Les cartes sont donc essentielles à l'élaboration du DICRIM : recensement des enjeux, des aléas, cartographie de chaque risque, et synthèse.

c) Outil de gestion de crise : le Plan Communal de Sauvegarde (PCS)

Dans toutes les communes dotées d'un PPRI approuvé ou comprises dans le champ d'application d'un Plan Particulier d'Intervention (PPI ; par exemple concernant un barrage), le **maire doit réaliser un Plan Communal de Sauvegarde (PCS)**.

Il s'agit pour le maire et la commune d'organiser, en fonction des risques connus, la sauvegarde, c'est-à-dire l'alerte, l'information, la protection et le soutien de la population et de mettre cette organisation sur le papier de manière à disposer d'un aide-mémoire au moment venu.¹⁵

Au minimum, le PCS doit contenir les informations suivantes :

- L'identification des risques et des vulnérabilités à l'échelle de la commune ;
- L'organisation prévue par la commune pour **assurer l'alerte**, l'information, la protection et le soutien de la population au regard des risques connus, et être en mesure de **recevoir une alerte** ;
- Le DICRIM (Document d'information sur les risques majeurs) ;
- Les modalités de mise en œuvre de la réserve de sécurité civile lorsque celle-ci a été constituée.

Le PCS est modulable en fonction des moyens de la commune, et peut par exemple contenir un recensement des moyens de transport, d'hébergement et de ravitaillement de la population pouvant être utilisés en cas de crise, ou les modalités d'exercice permettant de tester le PCS.

Le PCS doit être compatible avec le plan Orsec départemental.

L'intercommunalité peut être mise à profit pour organiser la sauvegarde des populations et un plan intercommunal de sauvegarde peut être établi en lieu et place du PCS. Ceci permet notamment de mutualiser des équipements, et de s'organiser de façon cohérente sur le territoire intercommunal. Cependant, même si cette option est retenue, le maire conserve ses responsabilités de maintien de la sécurité publique et de direction des opérations de secours.

Dans le PCS, les cartes n'ont donc pas de rôle réglementaire direct, mais elles peuvent être un outil précieux pour aider à l'organisation, par exemple à travers la localisation d'enjeux majeurs, de vulnérabilités directes ou indirectes, ou de moyens.

¹⁵ Site Internet Prim.net

d) Le Dossier Départemental sur les Risques Majeurs (DDRM)

Le DDRM est un dossier établi **par le préfet au niveau départemental** (art R125-11 du Code de l'Environnement), qui rassemble les informations essentielles sur les risques naturels et technologiques majeurs du département. Le DDRM est **librement consultable par toute personne, sans justification ni redevance**, à la préfecture et en sous-préfecture, ainsi qu'à la mairie des communes listées dans le DDRM. Il est également mis en ligne sur Internet à partir du site de la préfecture.

L'information donnée au citoyen sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis comprend la description des risques et de leurs conséquences prévisibles pour les personnes, les biens et l'environnement, ainsi que l'exposé des mesures de sauvegarde prévues pour limiter leurs effets.

Ce dossier doit être constitué dans les communes suivantes :

- pour lesquelles existent un document de prévention ou d'intervention tels que : Plan Particulier d'Intervention, PPR, plan de prévention des risques miniers
- définies par un texte national ou départemental à savoir celles :
 - situées dans les zones de sismicité I a, I b, II et III (définies par le décret n° 91-461 du 14 mai 1991) ;
 - exposées à un risque volcanique, figurant sur une liste établie par décret ;
 - situées dans les régions ou départements mentionnés à l'article L. 321-6 du code forestier et figurant, en raison des risques d'incendies de forêt, sur une liste établie par arrêté préfectoral ;
 - situées dans les départements de la Guadeloupe, de la Martinique et de la Réunion, en ce qui concerne le risque cyclonique ;
- désignées par arrêté préfectoral en raison de leur exposition à un risque majeur particulier

Le DDRM comprend :

- la liste de l'ensemble des communes concernées
- la connaissance des risques naturels et technologiques dans le département (description risque par risque, conséquences pour les personnes et les biens, consignes individuelles de sécurité ...)
- l'exposé risque par risque des mesures générales de prévention, de protection et de sauvegarde prévues par les autorités publiques dans le département pour en limiter les effets
- une **cartographie** des communes concernées risque par risque.

Le préfet recense dans le DDRM les actions préventives mises en œuvre dans le département, qui s'inscrivent notamment dans les objectifs et le programme d'actions du schéma de prévention des risques naturels, document d'orientation sur **5 ans**, en terme de :

- Connaissance du risque : cartographie, inventaire, mémoire, études spécifiques...
- Surveillance et prévision
- Mesures collectives et individuelles de mitigation¹⁶ : afin de réduire l'aléa et la vulnérabilité des enjeux

¹⁶ Site Internet Prim.net (http://www.prim.net/professionnel/procedures_regl/p_ddrm.html). Les mesures de mitigation peuvent être multiples, des infrastructures de protection aux mesures visant à instaurer une meilleure culture du risque.

- Prise en compte dans l'aménagement au travers principalement du SCOT, du PPR et des documents d'urbanisme
- Information et éducation préventives : mise en place de repères, information acquéreur locataire, sensibilisation et formation des professionnels et des scolaires,....

Le document rappelle enfin les consignes de comportement à adopter en cas de crise et précise l'organisation des secours au niveau départemental et également individuel (dans une perspective de plan familial de mise en sûreté).

Les cartes tiennent donc une place importante au sein du DDRM, puisqu'elles permettent de localiser les communes concernées, risque par risque, de localiser les moyens de mitigations possibles, et de diffuser largement l'information.

2. Les acteurs règlementaires

En France l'information concernant les risques d'inondation est un droit de chaque citoyen. De même, les pouvoirs publics se doivent d'informer la population des mesures de prévention et de sauvegarde mises en place. Ces deux aspects ont pour objectif de responsabiliser l'ensemble des acteurs concernés, de leur permettre de réduire leur vulnérabilité et de développer une culture commune du risque.

La réglementation française répartit la responsabilité de la prévention du risque d'inondation entre trois types d'acteurs :

- L'Etat,
- Le maire,
- Les riverains des cours d'eau.

a) L'Etat

L'Etat a une obligation **d'information des maires** sur les risques présents sur leur commune. Les préfets se doivent pour cela d'élaborer le "porter à connaissance" des risques. Chaque préfet doit réaliser le Dossier Départemental des Risques Majeurs (**DDRM**), qui décrit, commune par commune, les risques, leurs conséquences prévisibles, ainsi que les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde prévues dans le département pour en limiter les effets. Le préfet a la responsabilité de publier le DDRM, accompagné des cartographies du risque existant ainsi que du plan de prévention des risques d'inondation s'il existe.

L'Etat a également la responsabilité de définir les **règles de l'urbanisation** dans les zones inondables. Le préfet prescrit, élabore et met en application des plans de prévention des risques d'inondation. Il arrête le **PPRI** après enquête publique et avis des conseils municipaux des communes sur le territoire desquelles il doit s'appliquer. C'est également le préfet qui définit les modalités de la concertation relative à l'élaboration de ce plan.

Le préfet de département a enfin pour mission de veiller au maintien de **l'ordre public et à la sécurité des personnes** et des biens à l'échelle du département. A ce titre, il devient **Directeur des opérations de secours** en cas d'inondation qui dépasse les limites d'une seule commune. Il arrête le plan ORSEC (Organisation de la Réponse de Sécurité

Civile) issu de la loi de modernisation de la sécurité civile¹⁷, qui inclue tous les anciens plans de secours, d'urgence, ou de secours spécialisé. Ce plan contient entre autre le DDRM, le volet « risques particuliers et sites à risques » du Schéma Départemental d'Analyse et de Couverture des Risques (SDACR), et des dispositifs opérationnels, permettant ainsi une réponse graduelle, de la veille à l'alerte et à la mobilisation progressive.

L'Etat est par ailleurs responsable de la **Police de l'eau**. A ce titre, il doit faire assurer la sécurité des digues de protection contre les crues, qu'elles lui appartiennent ou non. Pour remplir cette responsabilité, l'Etat mène une action nationale de recensement des digues intéressant la sécurité publique, et impose à leur propriétaires des prescriptions particulières (diagnostics, visites de contrôle, travaux).

Les cartes jouent un rôle majeur dans les missions qui incombent aux préfets en matière de gestion du risque d'inondation. Ils sont entre autres chargés de l'élaboration des cartes figurant dans les PPRI, les DDRM, les Plans ORSEC, ainsi que de la localisation des dispositifs de protection.

b) Le maire

Le maire est le premier responsable du maintien de **l'ordre et de la sécurité** sur le territoire de sa commune. Ses pouvoirs de police comprennent notamment (article L 2212-2 du Code général des collectivités territoriales) :

- La prévention du risque d'inondation et des ruptures de digues "par des précautions convenables".
- La gestion de la crise et de l'après crise. Le maire devient le "**Directeur des Opérations de Secours**" en cas de crise sur le territoire de sa commune (mission qui revient au Préfet dès que l'inondation dépasse les limites de la commune). Pour mener à bien cette mission, le maire doit réaliser le **Plan Communal de Sauvegarde (PCS)**.

Le maire est également responsable de **l'occupation du sol** sur le territoire de sa commune et donc des risques créés par les constructions qu'il autorise. Les permis de construire doivent être conformes au Plan de Prévention des Risques d'inondation, s'il en existe un sur le territoire de la commune (Décret n°95-1089 du 5 octobre 1995 modifié).

Le maire est enfin surtout responsable de **l'information de ses citoyens** de l'existence de risques d'inondation. Les maires de toutes les communes concernées par le risque d'inondation doivent en informer leurs administrés par :

- Le Document d'Information et de Communication sur les Risques Majeurs (**DICRIM**), accompagné d'une campagne d'affichage des risques et des consignes à suivre,
- Un "porter à connaissance" de l'Atlas des Zones Inondables (AZI) et du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) prévisibles lorsqu'ils existent,
- Une communication sur les risques d'inondation (au moins tous les deux ans si la commune est couverte par un PPRI),
- L'apposition de repères de crue en zone inondable. (Loi n°2003-699 du 30 juillet 2003, Loi n°2004-811 du 11 août 2004 et Article L 125-2 et L 563 du Code de l'Environnement et Articles R 125-9 à R 125-27 du Code de l'Environnement et Décret n°2005-233 du 14 mars 2005)

¹⁷ Loi de modernisation de la sécurité civile, loi n° 2004-811 du 13 août 2004

Les cartes et autres documents graphiques jouent un rôle majeur dans les missions qui incombent au maire en matière de gestion du risque d'inondation, avec en particulier l'application des données cartographiées dans le PPRI, l'élaboration des cartes accompagnant le Plan Communal de Sauvegarde, ou la diffusion des informations cartographiées dans l'Atlas des zones inondables ou dans le DICRIM.

c) Les riverains des cours d'eau

Les riverains des cours d'eau sont seuls responsables de leur protection contre les inondations. Ils ne peuvent pas exiger que l'Etat ou les collectivités érigent des digues ou des ouvrages de protection. (Loi du 16 septembre 1807 relative au dessèchement des marais (art 33)). La loi a toutefois fait l'objet d'un certain nombre d'exceptions, notamment sur la Loire, le Rhin et le Rhône, où l'Etat a pris sous sa responsabilité la réalisation d'ouvrages de protection.

D'autre part, les collectivités territoriales peuvent assurer les travaux de défense contre les inondations lorsque ceux-ci présentent un caractère d'intérêt général ou d'urgence. Leur intervention n'est toutefois en aucun cas obligatoire. Elles peuvent faire participer les personnes qui ont rendu les travaux nécessaires ou qui y trouvent leur intérêt, aux dépenses engagées (Article L 221-7 du Code de l'Environnement et Décret n°93-1182 du 21 octobre 1993 modifié par le décret 2005-115 du 7 février 2005).

Les **propriétaires de biens fonciers** bâtis ou non bâtis, situés dans les zones couvertes par un plan de prévention des risques, doivent annexer au contrat un "état des risques" ainsi que la liste des sinistres qu'a subi le bien (Articles R 125-23 à R 125-27 du Code de l'Environnement).

Les propriétaires et gestionnaires de **campings** et de terrains de **stationnement** de caravanes localisés dans une zone soumise à un risque naturel (inondation en particulier) doivent mettre en œuvre certaines mesures d'information, d'alerte et d'évacuation permettant d'assurer la sécurité des occupants. Ces mesures sont prescrites par l'autorité compétente en matière d'urbanisme (Articles R 125-15 à R 125-22 du Code de l'Environnement).

Les propriétaires de **digues et d'aménagements** hydrauliques sont responsables au premier chef du maintien et de la sécurité de leurs ouvrages. Leur responsabilité civile peut être engagée en cas de dommages à un tiers, pour faute, pour négligence ou imprudence, ou même sans faute (Articles 1382 à 1384 du Code Civil).

Les riverains ne sont donc pas concernés par les cartes en tant qu'auteurs comme le sont les maires ou l'Etat, mais le fait qu'ils soient seuls responsables des risques qu'ils encourent nécessite qu'ils soient capables de comprendre les documents concernant leur situation face aux risques. Cela souligne l'importance d'adapter ces documents aux besoins/capacités de leurs destinataires.

3. D'autres acteurs sont concernés directement par le risque d'inondation

a) Les Etablissements Publics Territoriaux de Bassin

La loi du 30 juillet 2003 a reconnu les Etablissements Publics Territoriaux de Bassins (EPTB) comme acteurs de la prévention des inondations et la gestion équilibrée de la ressource en eau et de la préservation et de la gestion des zones humides, à l'échelle des bassins et des sous-bassins.

Les EPTB sont des établissements publics de coopération des collectivités territoriales, agissant pour le compte des collectivités. Ils ont le statut juridique de syndicat mixte ouvert ou le plus souvent d'institution interdépartementale, pouvant regrouper communes, départements, régions. Ils agissent en vertu du principe de subsidiarité, dans le domaine de la prévention des inondations en particulier. Les EPTB français sont donc de formes diverses et mènent des actions variées dans le domaine de la prévention des inondations.

L'Etat a lancé en 2002 un appel à projet avec pour objectif de développer des **Programmes d'Action de Prévention des Inondations** (PAPI). Ces programmes d'action ont vocation d'une part à traiter les bassins versants de manière globale et dans une perspective de développement durable, et d'autre part à favoriser, par des actions d'information, l'émergence d'une véritable conscience du risque dans la population.

b) Les collectivités territoriales

Les collectivités territoriales n'ont pas d'obligation réglementaire de prévention des inondations. Cependant, nombre d'entre elles entreprennent des démarches volontaires dans ce domaine. Elles visent notamment à :

- Réduire la vulnérabilité de leurs biens propres et de leurs services face au risque d'inondation,
- Inciter des particuliers ou des entreprises à réduire leur vulnérabilité,
- Concevoir et mettre en œuvre sur leur territoire, des stratégies globales de prévention.

Le ministère de l'Ecologie favorise également l'émergence de projets locaux de Prévention des Risques Naturels au sein des collectivités locales. Il s'agit d'inciter les collectivités à développer des stratégies globales de prévention du risque d'inondation sur leur territoire, et en particulier de confronter la question des risques avec les stratégies futures en matière d'aménagement et de développement. Des financements sont accordés aux collectivités souhaitant engager des études ou des travaux de prévention dans le cadre de ces projets.

c) La cellule d'analyse des risques et d'information préventive (CARIP)

Pour collecter les données, établir les documents réglementaires et faciliter la diffusion de l'information préventive des populations par les maires, il est constitué dans chaque département, une cellule d'analyse des risques et d'information préventive placée sous l'autorité du préfet.

Composée de membres de l'administration d'Etat, des services médicaux et sociaux, comme de la société civile, elle a pour mission :

- De réunir l'information et la documentation permettant d'établir les documents réglementaires,
- D'élaborer ces documents réglementaires,
- De jouer un rôle d'expert et de conseil pour les actions menées au niveau communal.

Le tableau ci-dessous reprend les différents acteurs et documents évoqués jusque là. On y observe des interactions (PPRI arrêté par le préfet mais mis en dont la mise en pratique revient au maire) et des imbrications de documents (le DICRIM, le PPRN et l'AZI doivent figurer au sein du DDRM, tout comme le plan ORSEC intègre le DDRM).

Tableau 2 :
Tableau de synthèse des
acteurs et documents liés au
risque d'inondation.

Acteur	Responsabilité légale	Documents officiels	Actions sur le terrain
Etat	Préfet Directeur des opérations de secours (échelle départementale)	Plan Organisation de la Réponse de Sécurité Civile (ORSEC) : intègre de DDRM et le Schéma Départementale d'Analyse et de Couverture des Risques (SDACR)	Assurer la gestion de crise, de la veille à la mobilisation
	Réalisation du Préfet	Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM)	Informers les maires et la population
	Arrêté du préfet	Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI)	Règlementer l'urbanisation en zones d'aléa
	Police de l'eau		Contrôle de la sécurité des digues de protections (de l'Etat ou non)
Maire	Information de la population	Document d'Information et de Communication sur les Risques Majeurs (DICRIM) Atlas des Zones Inondables (AZI) Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN)	Porter à connaissance Affichage et réunions publiques Apposition de repères de crue Etc.
	Directeur des opérations de secours (communales)	Plan Communal de Sauvegarde (PCS) : contient DICRIM , PPRN et AZI	Gérer la crise, de l'alerte au retour à la normale.
	Occupation des sols	Plan de Prévention des Risques d'inondation (PPRI)	Accord/refus permis de construire
Collectivités territoriales			Projets locaux de Prévention des Risques Naturels
Etablissements Publics Territoriaux de Bassin (EPTB)			Appel à projet : Programme d'Action de Prévention des Inondations (PAPI) Missions de recherche et de formation

Vendeurs, bailleurs		Etat des risques Liste des sinistres	
Propriétaires de campings et stationnements			Mesures d'information, d'alerte et d'évacuation
Propriétaires d'aménagements hydrauliques	Responsable de la sécurité des ouvrages		Entretien des digues et aménagements hydrauliques
Cellule d'Analyse des Risques et d'Information Préventive (CARIP)	Sous l'autorité du préfet		Collecter les données, établir les documents réglementaires, diffuser l'information préventive

On constate ici une superposition des échelles, des responsabilités et des documents qui pourrait laisser envisager là un handicap à une gestion optimale de crise, de surcroît si la coordination entre les multiples acteurs n'est pas particulièrement soignée.

C'est en partie dans cette optique que la directive européenne « inondation », que nous allons étudier ci-après, impose certaines modifications à travers les futurs plans de gestion des risques d'inondation.

B. Les cartes dans la directive "relative à l'évaluation et à la gestion des inondations" du 26 novembre 2007

Cette directive¹⁸ a pour objectif d'améliorer la gestion du risque d'inondation en Europe. Il s'agit d'aider les Etats Membres à se doter d'outils appropriés pour réduire le risque d'inondation et pour limiter les impacts des inondations sur la santé humaine, l'environnement et l'activité économique. Elle amène les Etats Membres à se coordonner au sein des bassins hydrographiques transfrontaliers.¹⁹

La Directive impose aux Etats membres :

- l'échelle de gestion des risques d'inondation : les bassins hydrographiques (ou portions de bassin hydrographique). Cette échelle implique une coordination internationale sur les bassins transfrontaliers ;

¹⁸ Le 18 janvier 2006, la Commission Européenne a proposé une directive "relative à l'évaluation et à la gestion des inondations", qui a été approuvée en septembre 2007 et est entrée en application en novembre 2007.

¹⁹ N. G. CAMPHIUS, directeur du Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation, (2008), « La directive européenne inondation et les évolutions qu'elle peut provoquer vis-à-vis de la situation française », 41 pages, consultable sur le site du CEPRI <http://www.cepri.net/>.

- une **méthodologie de gestion des risques** en 3 étapes :

- L'évaluation préliminaire des risques d'inondation, qui comprend en particulier une description des aléas et des enjeux pour la santé humaine, l'environnement et l'activité économique sur le bassin concerné, (échéance : 22 décembre 2011)
- La **cartographie des zones inondables** et des **dommages** susceptibles d'être causés par les inondations. Ces cartes devront faire figurer 3 scénarios : une inondation de période de retour 10 ans, une inondation de période de retour 100 ans et une inondation extrême. Les cartes feront figurer les niveaux d'eau anticipés ainsi que la vitesse du courant. Les dommages seront exprimés selon 3 indicateurs : le **nombre d'habitants potentiellement touchés**, les **dommages économiques potentiels dans la zone**, les **dommages potentiels causés à l'environnement**. (échéance : 22 décembre 2013)
- La réalisation de plans de gestion des risques d'inondation, à l'échelon du district hydrographique. Ces plans doivent faire intervenir une stratégie globale de réduction du risque, basée sur la prévention, la protection et la "préparation aux situations de crise" (échéance : 22 décembre 2015)

- **des procédures** : la participation du public à l'élaboration des plans de gestion des risques d'inondation.

Dans le cadre de ce dernier point, des travaux tels que ce PFE vont être indispensables, afin de prendre en compte les spécificités du grand public en matière de lecture des cartes. En effet, comment obtenir une participation du public à l'élaboration des plans de gestion si celui-ci rencontre de trop grandes difficultés de compréhension face aux cartes qui lui sont présentées ? La sémiologie graphique utilisée va devoir être améliorée pour parvenir à la hauteur des ambitions de la directive.

La Directive va exiger un certain nombre de **changements des pratiques françaises** dans les cinq ans à venir et demander une mobilisation de moyens humains et financiers qui pourraient ne pas être négligeables. En effet, elle demande plusieurs approches que la France n'a pas intégrées dans sa politique actuelle :

- Les **scénarios** de crue à prendre en compte ne sont plus les mêmes : la probabilité dite moyenne correspond maintenant à une période de retour centennale ;
- Les **cartes des risques d'inondation** devront désormais montrer les conséquences négatives potentielles exprimées au moyen des paramètres suivants, qui ne sont pour l'instant pas pris en compte :
 - le nombre indicatif d'habitants potentiellement touchés,
 - les types d'activités économiques dans la zone potentiellement touchée,
 - les installations classées et les zones Natura 2000.

De même, les plans de gestion sont plus ambitieux que les actuels PPR, puisqu'ils englobent tous les aspects de la gestion des risques d'inondation, en mettant l'accent sur la prévention, la protection et la préparation, y compris la prévision des inondations et les systèmes d'alerte précoce, et en tenant compte des caractéristiques du bassin hydrographique ou du sous-bassin considéré. Ils peuvent également comprendre l'encouragement à des modes durables d'occupation des sols, l'amélioration de la

rétenion de l'eau, ainsi que l'inondation contrôlée de certaines zones en cas d'épisode de crue.

- a) La Directive 2007/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation

La directive est précédée de 25 constatations préliminaires. Elle est ensuite structurée de la façon suivante :

Chapitre I : dispositions générales (3 articles)

Chapitre II : **évaluation préliminaire** des risques d'inondation (articles 4 et 5)

Chapitre III : **cartes des zones inondables** et **cartes des risques d'inondation** (article 6)

Chapitre IV : **plans de gestion** des risques d'inondation (article 7 et 8)

Chapitre V : coordination avec la directive 2000/60/ce, information et consultation du public (articles 9 et 10)

Chapitre VI : mesures de mise en œuvre et modifications (articles 11 et 12)

Chapitre VII : mesures transitoires (article 13)

Chapitre VIII : réexamens, rapports et dispositions finales (articles 14 à 19)

Nous allons voir qu'il est question des cartes et des exigences de l'Europe vis-à-vis de celles-ci dans chacune ou presque de ces parties.

Constatations préliminaires

*« (12) Afin de disposer d'un **outil d'information efficace**, ainsi que d'une base valable pour la fixation de priorités et les décisions techniques, financières et politiques ultérieures en matière de gestion des risques d'inondation, **il est nécessaire de prévoir l'établissement de cartes des zones inondables et de cartes des risques d'inondation montrant les conséquences négatives potentielles associées à différents scénarios d'inondation, y compris des informations sur les sources potentielles de pollution environnementale à la suite d'inondations.** [...] »*

*« (16) Afin d'éviter tout double travail, il convient que les États membres aient la faculté, pour réaliser les objectifs de la présente directive et satisfaire à ses exigences, **d'utiliser les évaluations préliminaires des risques d'inondation, les cartes des zones inondables, les cartes des risques d'inondation et les plans de gestion des risques d'inondation existants.** »*

Les cartes sont un outil de partage de l'information, qui va permettre de fixer les priorités. Il faut donc les réaliser dans l'idée qu'il faudra prioriser et hiérarchiser en fonction des risques (aléa d'inondation et enjeux exposés) identifiés lors de la cartographie. C'est là un enjeu sémiologique important. De plus, si la directive suggère avec bon sens d'utiliser au maximum les travaux déjà effectués, il s'avéra nécessaire en France de ne pas se contenter de la cartographie des inondations existante, car celle-ci ne satisfait pas totalement aux exigences de la directive. Le recensement des enjeux permettant de faire les cartes de risques devra également bien souvent être complété.

Chapitre II : évaluation préliminaire des risques d'inondation

« Article 4 »

L'évaluation préliminaire des risques d'inondation doit comprendre au moins les éléments suivants :

« a) des cartes du district hydrographique, établies à l'échelle appropriée, comprenant les limites des bassins hydrographiques, des sous-bassins et, lorsque le cas se présente, des zones côtières, et indiquant la topographie et l'occupation des sols;

*b) la description des inondations survenues dans le passé et ayant eu des impacts négatifs significatifs sur la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique, pour lesquelles il existe toujours une réelle probabilité que se produisent des événements similaires à l'avenir, y compris la **description de l'étendue des inondations et des axes d'évacuation des eaux**, et une évaluation des impacts négatifs qu'ont induits les inondations considérées; »*

« et, selon les besoins spécifiques des États membres,

*d) l'évaluation des conséquences négatives potentielles d'inondations futures en termes de santé humaine, d'environnement, de patrimoine culturel et d'activité économique, en tenant compte autant que possible d'éléments tels que la **topographie**, la **localisation des cours d'eau** et leurs caractéristiques hydrologiques et géomorphologiques générales, y compris les plaines d'inondation en tant que zones de rétention naturelle, l'efficacité des infrastructures artificielles existantes de protection contre les inondations, la **localisation des zones habitées**, les **zones d'activité économique** ainsi que les évolutions à long terme parmi lesquelles les incidences des changements climatiques sur la survenance des inondations. »*

Cette évaluation préliminaire des risques doit donc contenir des cartes explicitement imposées, traitant des caractéristiques hydrographiques de la zone. Mais les cartes s'avéreront également certainement très utiles, voire indispensables pour localiser les « impacts négatifs significatifs » des « inondations survenues dans le passé ». Elles le seront certainement également pour évaluer les « conséquences négatives potentielles d'inondations futures » : elles seules peuvent permettre de représenter, de localiser l'ensemble des éléments à prendre en compte, et donc de déterminer les interactions entre ceux-ci.

Les délais pour réaliser ces évaluations sont courts. Ces évaluations doivent exploiter les données déjà disponibles ou facilement mobilisables. Les cartes du district existent déjà avec la Directive Cadre sur l'Eau, mais il n'y figure pas encore les informations sur la topographie et l'occupation des sols, qui seront à travailler à partir des données IGN et de celles de Corine Land Cover. La logique demandée lors de ces évaluations est proche de celle des plus hautes eaux connues utilisées dans les Atlas des zones inondables (AZI), puisque l'on s'intéresse ici aux plus larges inondations connues. Il est donc

considéré qu'une inondation qui a déjà eu lieu pourra se reproduire, quelle que soit la protection construite, car défaillances et dysfonctionnements sont toujours possibles. De plus, il est demandé d'aller plus loin que la démarche des AZI, notamment dans l'évaluation des conséquences négatives aujourd'hui de ces inondations passées.

La possibilité est offerte d'aller encore plus loin et de prendre en compte des évolutions qui seraient clairement prévisibles et qui influenceraient nettement le niveau de risque : soit en jouant sur les pluies (changement climatique), sur le comportement de la rivière (caractéristiques géomorphologiques) ce qui est important sur les cours d'eau avec fort charriage ou forte divagation par exemple, ou sur l'exposition de nouveaux enjeux en zone inondable (habitat, activités économiques).

Chapitre III : cartes des zones inondables et cartes des risques d'inondation

« Article 6

*1. Les États membres préparent, à l'échelon du district hydrographique ou de l'unité de gestion visée à l'article 3, paragraphe 2, point b), des **cartes des zones inondables** et des **cartes des risques d'inondation**, à l'échelle la plus appropriée, pour les zones répertoriées conformément à l'article 5, paragraphe 1. » (zones pour lesquelles des risques potentiels importants d'inondation existent ou dont leur matérialisation peut être considérée comme probable.)*

*« 2. **L'élaboration de cartes des zones inondables et de cartes des risques d'inondation** pour les zones répertoriées conformément à l'article 5 communes à plusieurs États membres font l'objet d'un échange d'informations préalable entre les États membres concernés.*

*3. Les **cartes des zones inondables** couvrent les zones géographiques susceptibles d'être inondées selon les scénarios suivants:*

- a) crue de faible probabilité ou scénarios d'événements extrêmes;*
- b) crue de probabilité moyenne (période de retour probable supérieure ou égale à cent ans);*
- c) crue de forte probabilité, le cas échéant.*

4. Pour chaque scénario visé au paragraphe 3, les éléments suivants doivent apparaître:

- a) l'étendue de l'inondation;*
- b) les hauteurs d'eau ou le niveau d'eau, selon le cas;*
- c) le cas échéant, la vitesse du courant ou le débit de crue correspondant.*

*5. Les **cartes des risques d'inondation** montrent les conséquences négatives potentielles associées aux inondations dans les scénarios visés au paragraphe 3, et exprimées au moyen des paramètres suivants :*

- a) le nombre indicatif d'habitants potentiellement touchés;*

b) *les types d'activités économiques dans la zone potentiellement touchée*²⁰ ;

c) *les installations visées à l'annexe I de la directive 96/61/CE du Conseil du 24 septembre 1996 (industries d'activités énergétiques ; production et transformation des métaux ; industrie minérale ; industrie chimique ; gestion des déchets) relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution, qui sont susceptibles de provoquer une pollution accidentelle en cas d'inondation, et les zones protégées potentiellement touchées visées à l'annexe IV, point 1 i), iii) et v), de la directive 2000/60/CE ;*

d) *les autres informations que l'État membre juge utiles, telles que l'indication des zones où peuvent se produire des inondations charriant un volume important de sédiments ou des débris, et des informations sur d'autres sources importantes de pollution.*

6. *Les États membres peuvent décider que, pour les zones côtières faisant l'objet d'un niveau de protection adéquat, l'élaboration de **cartes des zones inondables** est limitée au scénario visé au paragraphe 3, point a).*

7. *Les États membres peuvent décider que, pour les zones où les inondations sont dues aux **eaux souterraines**, l'élaboration de **cartes des zones inondables** est limitée au scénario visé au paragraphe 3, point a).*

8. *Les États membres veillent à ce que les cartes des zones inondables et les cartes des risques d'inondation soient **achevées pour le 22 décembre 2013** au plus tard. »*

La crue centennale devra désormais être considérée comme une crue « moyenne ». La crue centennale n'est plus un maximum, une « crue de projet » au-delà de laquelle aucune étude n'est menée, mais un évènement « moyen » au regard des enjeux exposés. Il est considéré de la responsabilité de la société, de s'intéresser à des évènements plus rares que ceux qui apparaissent avec une probabilité annuelle de 1%. Les évènements courants (crues décennales ou cinquantennales) ne sont pas indispensables. On les étudie le cas échéant.

Il va donc être nécessaire pour les différents acteurs de s'entendre sur le scénario extrême pour le cartographier. Les AZI actuels comportent en général ce type d'informations mais pour une seule période de retour. Il faudra donc les compléter pour les autres périodes de retour.

La cartographie devra montrer l'ampleur des inondations derrière des protections physiques (comme les digues) pour les scénarios extrêmes où ces protections ne sont plus efficaces. Où l'eau entrera dans les secteurs « protégés » ? Comment inondera-t-elle ces secteurs ? Est-ce que tout sera inondé ou pas ? La recherche de données dans les Archives devrait être un passage obligé de ce processus. Il faudra travailler de sorte à trouver l'information de manière simple et automatique, recouper et vérifier plusieurs bases de données, et surtout harmoniser les méthodes choisies par les différents acteurs. Les échéances sont courtes pour couvrir des territoires importants et il va être nécessaire d'évaluer les ressources humaines et financières pour atteindre les objectifs visés.

20 L'Établissement Public Loire Grandeur Nature (EP Loire) a lancé en avril 2008 un appel à projet de recherche dans ce domaine : « Appel à projets de recherche en lien avec la vulnérabilité aux inondations des activités économiques »

Chapitre V : coordination avec la directive 2000/60/CE, information et consultation du public

« Article 9

*Les États membres prennent les mesures appropriées aux fins de la coordination de l'application de la présente directive et de la directive 2000/60/CE, en mettant l'accent sur les possibilités d'améliorer **l'efficacité et l'échange d'informations** et de parvenir à des synergies et à des avantages partagés en tenant compte des objectifs environnementaux définis à l'article 4 de la directive 2000/60/CE. En particulier:*

*1) **L'élaboration des premières cartes des zones inondables et des risques d'inondation** et leurs réexamens ultérieurs visés aux articles 6 et 14 de la présente directive sont effectués de manière à ce que les informations qu'elles contiennent soient compatibles avec les informations pertinentes qui sont présentées conformément à la directive 2000/60/CE. Ils font l'objet d'une coordination avec les réexamens prévus à l'article 5, paragraphe 2, de la directive 2000/60/CE et peuvent y être intégrés;*

« Article 10

*1. Conformément à la législation communautaire applicable, les États membres mettent à la disposition du public l'évaluation préliminaire des risques d'inondation, les **cartes des zones inondables, les cartes des risques d'inondation et les plans de gestion des risques d'inondation.** »*

Ce chapitre insiste sur la place centrale de la carte comme instrument de communication, que ce soit dans la coordination des acteurs ou dans la diffusion auprès du grand public. Il s'agira là d'améliorer leur qualité pour plus d'efficacité dans la transmission de l'information.

Chapitre VIII : réexamens, rapports et dispositions finales

Article 14

*« 2. Les **cartes des zones inondables** et les **cartes des risques d'inondation** sont réexaminées et, si nécessaire, mises à jour pour le 22 décembre 2019 au plus tard et, par la suite, tous les six ans.*

3. Le plan ou les plans de gestion des risques d'inondation sont réexaminés et, si nécessaire, mis à jour, y compris pour ce qui concerne les éléments définis dans la partie B de l'annexe, pour le 22 décembre 2021 au plus tard et, par la suite, tous les six ans. »

« Article 15

1. *Les États membres mettent à la disposition de la Commission l'évaluation préliminaire des risques d'inondation, les **cartes des zones inondables**, les **cartes des risques d'inondation** et les plans de gestion des risques d'inondation visés aux articles 4, 6 et 7, ainsi que leurs réexamens et, le cas échéant, leurs mises à jour dans les trois mois qui suivent les dates indiquées respectivement à l'article 4, paragraphe 4, à l'article 6, paragraphe 8, à l'article 7, paragraphe 5, et à l'article 14. »*

L'Union Européenne impose donc des délais et demande l'accès à l'ensemble des documents obligatoires. Aucun des documents, cartes ou plans, ne sera acquis de façon définitive. Ceci nécessitera un important travail mais permettra de mieux suivre les évolutions des enjeux, notamment celles dues au changement climatique.

La directive européenne « relative à l'évaluation et à la gestion des inondations » considère donc les cartes comme un élément central de diagnostic, de réflexion, et de décision. Si l'on considère de surcroît le fait que de nombreux éléments repères (tels que les crues de références) ont été bousculés, le travail de cartographie en matière de risque d'inondation va être important en Europe, qualitativement comme quantitativement. Il est donc crucial que la recherche en la matière puisse produire des résultats opérationnels, et ce dans des délais compatibles avec les obligations inscrites dans la directive.

PARTIE 2

**VERS UNE AMELIORATION
DES CARTES : LA SEMIOLOGIE
GRAPHIQUE EXPERIMENTALE**

A. Les limites de la sémiologie classique

1. Modèle linéaire / Modèle de la sémiologie graphique expérimental

Jusqu'à présent, la sémiologie graphique s'est généralement contentée d'un mode de fonctionnement linéaire, sans échange entre le concepteur de la carte et son lecteur lors de la conception.

On peut ainsi lire dans l'annexe d'un guide méthodologique rédigé par les services de l'Etat²¹ :

« Les cartes sont à la fois une source d'informations, un support de la transcription des données nouvelles, un produit d'aide à la décision, un outil de concertation et de communication. Pour atteindre ces finalités, l'élaboration des cartes doit répondre à des règles précises, notamment celles de la sémiologie graphique, qui assure le transfert du message entre le concepteur (technicien) et le récepteur (élu, population). »

On voit bien ici qu'aucun retour du « récepteur » vers le « concepteur » n'est prévu.

Pourtant, comme l'exprime Sylvie Rimbart²² dans ses *Leçons de cartographie thématique* (1967), il existerait un « idéal d'une "grammaire graphique" » c'est-à-dire qu'il serait possible, « à titre d'exemple », de corriger « des cartes classiques, des représentations si admises que l'on n'en voyait pas l'illisibilité ».

De son côté, Denise Pumain, dans une critique d'un article de J.P. Bord²³ datant du 15 mars 1997, semble pointer ce manque en matière de prise en compte des destinataires :

« La récente réunion organisée par l'Association des Cartographes Géographes, avec l'aide de Michèle Béguin (Université Paris I) en octobre 1996 à l'occasion du soixantième anniversaire de l'École de cartographie de Paris, a montré de la part des professionnels de la cartographie, [...], un souci d'analyse de l'évolution de la cartographie dans ses rapports avec les demandes des utilisateurs ».

Elle poursuivait un peu plus loin dans sa critique de l'article en reprenant les propos de G. Pasky :

« Notons que son président, Jean-Marc Orhan, prépare une thèse tendant à faciliter l'introduction des principes de la sémiologie graphique dans les SIG. C'est peut-être sur ce dernier point concernant aussi l'étude expérimentale de la perception et de la lecture des cartes

21 Guide méthodologique plan de prévention des risques technologiques, (2005) piloté par la Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques / MEDD et la Direction Générale de l'Urbanisme de l'Habitat et de la Construction / MTETM en collaboration avec l'INERIS, le CERTU et des CETE, 136p.

22 Propos de S. RIMBERT repris par Gilles PASKY et Marie-Claire ROBIC, « Aux sources de la sémiologie graphique », Cybergeog, Colloque "30 ans de sémiologie graphique", article 147, mis en ligne le 17 novembre 2000, modifié le 02 mai 2007. URL : <http://www.cybergeog.eu/index554.html>. Consulté le 11 janvier 2009.

23 Jean-Paul BORD, « Le géographe et la carte. Point de vue et questionnement de la part d'un géographe cartographe », Cybergeog, Cartographie, Imagerie, SIG, article 17, mis en ligne le 20 mars 1997, modifié le 31 juillet 2007. URL : <http://www.cybergeog.eu/index6470.html>. Consulté le 11 janvier 2009.

que les travaux français de cartographie théorique seraient le plus faibles »²⁴

Gilles Palsky, dans une critique du même article (24 avril 1997), insistait lui aussi sur ce point :

« La cartographie française souffre peut-être en cela d'un "paradigme bertinien" : les processus de perception et de cognition, en jeu dans la lecture et l'utilisation de la carte, ont été négligés. »

Yaïves Ferland²⁵, quant à lui, tente de préciser ce qui doit être pris en compte dans l'identité du destinataire :

« L'aspect technique est dédié à la production d'un objet signifiant, la carte, qui devra être utilisable par un lecteur anonyme dont il faut pourtant à l'avance prévoir les perceptions culturelles ou professionnelles et tenter de s'y conformer. Il s'agit de l'exigence de respecter des normes socio-culturelles ou professionnelles de représentation spatiale partagée, ce qui constitue leur canonicité structurante. »

2. Exemple de travail en sémiologie graphique expérimentale : travaux d'Elisabeth Chesneau sur l'amélioration automatique des couleurs, appliqués aux cartes de risques

« La carte est un instrument ancien qui est devenu omniprésent et de qualité croissante pour transmettre des informations dans de très nombreux domaines comme celui des risques. Leur multiplication s'explique par le développement majeur des outils informatisés et la diversification des champs d'application où on les utilise. » E. Chesneau²⁶.

Mais cette « qualité croissante » est parfois remise en question, par l'auteur elle-même : « Les cartes peuvent contenir de nombreuses informations qui souvent se chevauchent, ce qui rend les données difficiles à cartographier. » De plus, on lit très souvent que « la carte numérique accessible à tous peut avoir une lisibilité réduite (Chesneau, 2004), notamment parce que les Systèmes d'Information Géographique (SIG) n'offrent pas d'outils d'analyse des légendes et les travaux théoriques en cartographie comme ceux de J. Bertin (Bertin, 1967), qui ne sont pas introduits dans de tels outils. »

²⁴ Critique d'un article de Jean-Paul BORD, « Le géographe et la carte. Point de vue et questionnement de la part d'un géographe cartographe », Cybergegeo, Cartographie, Imagerie, SIG, article 17, mis en ligne le 20 mars 1997, modifié le 31 juillet 2007. URL : <http://www.cybergegeo.eu/index6470.html>. Consulté le 11 janvier 2009.

²⁵ Yaïves FERLAND, « Les défis théoriques posés à la cartographie mènent à la cognition », Cybergegeo, Colloque "30 ans de sémiologie graphique", article 148, mis en ligne le 17 novembre 2000, modifié le 15 février 2007. URL : <http://www.cybergegeo.eu/index499.html>. Consulté le 11 janvier 2009.

²⁶ Cybergegeo : Revue européenne de géographie, N° 360, 14 novembre 2006, Propositions méthodologiques pour l'amélioration automatique des contrastes de couleur - application aux cartes de risque, E. CHESNEAU, 13p.

C'est pour chercher à passer outre ces limites des cartes numériques, qu'Elisabeth Chesneau a travaillé à un « modèle d'amélioration automatique des contrastes ».

Elle part tout d'abord de la constatation que « Le fond topographique est le plus souvent en gris dans les cartes de risque. » Elle tente donc de « rendre ce fond plus actif en le représentant avec des gris colorés ». A l'aide de tables de références (composées de cercles chromatiques principalement), elle fait varier les couleurs attribuées au fond par rapport aux couleurs figurant les aléas et étudie « la relation sémantique qui lie les deux objets ». Une « interprétation qualitative est effectuée : *ce contraste traduit-il correctement la relation sémantique qui existe avec mon voisin ?* Par exemple, si deux objets voisins appartiennent au même thème (hydrographie), ils devraient avoir un faible contraste de teinte mais un contraste de clarté élevé. Par contre, si deux objets voisins ne sont pas du même thème (inondation, bâtiment), ils devraient plutôt avoir un contraste de teinte élevé et un contraste de clarté d'autant plus fort que leur contraste de quantité l'est avec le petit objet en plus foncé. »

Un logiciel de recherche²⁷ a été mis au point afin de calculer les valeurs de contraste entre les figurés du fond de carte et les autres figurés (dans le cas présents aléas faible ou moyen). Le fonctionnement en boucle du logiciel permet d'obtenir le contraste « idéal », celui offrant une lecture optimale de la carte.

Ainsi, dans l'exemple traité, en un cycle de convergence (c'est-à-dire après un ensemble de boucles de calcul du logiciel), on passe de la carte initiale de la figure 1 à celle de la figure 2.

Figure 2 : Carte initiale

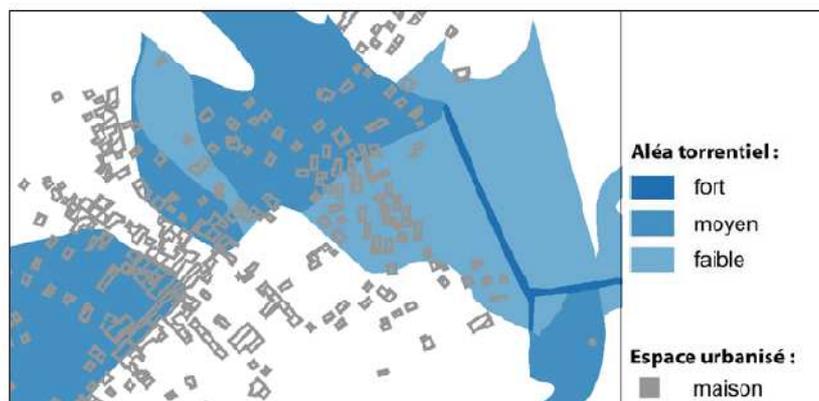
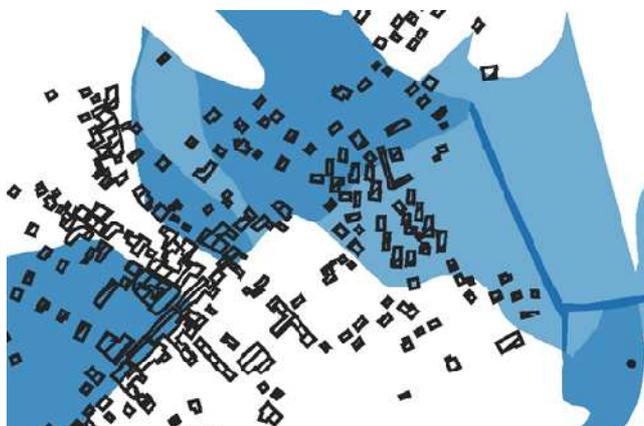


Figure 3: Carte "idéale", après correction automatique des couleurs



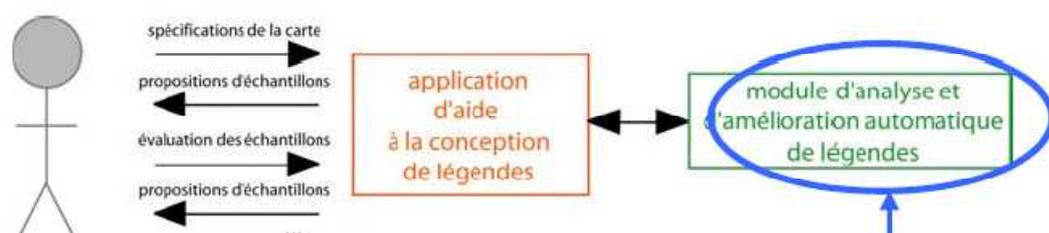
²⁷ Prototype expérimental, construit sur le Système d'Information Géographique Lamps2 de la société LaserScan : ARiCo (Amélioration automatique des cartes de Risque par le Contraste coloré)

Nous pouvons émettre deux critiques vis-à-vis de ce qui précède :

- Ces travaux de sémiologie graphique cherchent à améliorer la carte en fonction des capacités de perception des lecteurs (capacité de l'œil à lire les contrastes de couleur), mais il ne s'agit cependant pas là de sémiologie graphique **expérimentale** à proprement parler, puisqu'aucun test sur des sujets n'est réalisé. L'intérêt de travaux comme notre PFE est donc d'aller plus loin et d'obtenir des mesures expérimentales.
- En outre, même si ces travaux s'intéressent au destinataire, il n'est réalisé que par des spécialistes, sans faire appel à des personnes lectrices novices en cartographie. On se limite donc là plus à des travaux de sémiologie graphique améliorée, qu'à une réelle sémiologie graphique expérimentale.

Le schéma ci-dessous²⁸ montre bien le fonctionnement en aller-retour concepteur-destinataire de ce type de travail d'amélioration des couleurs.

Figure 4:
Fonctionnement "en
boucle" de l'aide à la
conception des cartes
offerte par le logiciel
Source : E. Chesneau



Enfin, les améliorations apportées par le travail d'E. Chesneau le sont de manière « objective », puisqu'elles ne sont basées que sur les calculs effectués par le logiciel. Nous verrons par la suite que notre travail intégrera quant à lui des notions plus subjectives à travers une étude cognitive.

B. L'oculométrie

L'oculométrie est une technique d'enregistrement et d'analyse des mouvements oculaires utilisée dans des domaines tels que les sciences cognitives, la psychologie, les interactions homme-ordinateur, les études de marché, ou encore la recherche médicale (études de la dyslexie en particulier).

1. Les utilisations de l'oculométrie : exemple de la mesure de l'Efficacité de la Visuo-Attention

L'équipe d'un laboratoire spécialisé en « eye-tracking », SR LABS²⁹, a introduit une série de tests qui, grâce à l'enregistrement des mouvements oculaires, est en mesure de mesurer la capacité de vision et d'attention des personnes. Cette méthode a été utilisée dans une étude préliminaire sur un échantillon de sapeurs-pompiers et d'étudiants universitaires.

²⁸ Cybergeog : Revue européenne de géographie, N° 360, 14 novembre 2006, Propositions méthodologiques pour l'amélioration automatique des contrastes de couleur - application aux cartes de risque, E. Chesneau, p.13

²⁹ Site de l'entreprise SR LABS : www.srlabs.it/; consulté le 19 janvier 2009

L'enregistrement des mouvements oculaires permet en effet d'évaluer non seulement le **fonctionnement du système visuel et perceptif**, mais aussi l'efficacité et la qualité des processus d'attention et les fonctions d'exécution, telles que savoir utiliser des stratégies dans l'exécution de tâches, ou réussir à éviter des réponses automatiques, des réflexes, qui à certains moments peuvent représenter des comportements erronés pour la situation présente.

Cette étude est particulièrement intéressante pour des profils professionnels "à haut risque" comme les sapeurs-pompiers. En effet, ces opérateurs doivent impérativement être capables d'effectuer des tâches, qui requièrent de hauts niveaux d'attention (distinguer un objectif dans un contexte confus par exemple) malgré une condition constante de risque ou de danger. Les décisions doivent être rapides et précises, la marge d'erreur est minime, le niveau de stress élevé.

Le logiciel conçu par SR LABS génère une note basée sur le suivi de tous les mouvements que le sujet a effectués au cours du temps employé pour l'exécution, sur le nombre de mouvements nécessaires pour exécuter chaque tâche et sur les temps de réaction.

Plusieurs tests ont été mis au point :

- Par exemple, le test antisaccade permet de tester l'efficacité de certaines fonctions mentales, en particulier de la concentration et de l'inhibition de comportements automatisés. Un stimulus qui apparaît soudainement à la périphérie du champ visuel évoque un comportement réflexe (une réponse "irrésistible") qui conduit à déplacer le regard vers ce stimulus.
Le test est utile pour vérifier la capacité de supprimer cette réponse en produisant des saccades (mouvements des yeux) dans la direction opposée à l'apparition du stimulus. Si un sujet fait de nombreuses erreurs, cela signifie que ces fonctions présentent des difficultés, qui peuvent causer distractibilité et difficultés à passer d'un cours d'actions à un autre.
- D'autres tests, dits « de Recherche Visuelle » représentent un indice évaluant l'efficacité des capacités visuelles et perceptives : recherche visuelle et capacités de maintien d'un bon niveau d'attention pendant un certain temps.
- D'autres enfin permettent même de détecter une prédisposition à d'éventuelles réactions de défense et de fuite devant les stimuli activateurs d'émotions ou, au contraire, de possibles tendances à la "recherche de sensations".

L'enregistrement des mouvements oculaires est dans cet exemple utilisé afin de tester les personnes. Puisqu'il fonctionne dans cette optique, il est également possible de l'utiliser pour tester simultanément les capacités des sujets testés, et les cartes que nous leur soumettons. En effet, ces enregistrements permettant d'évaluer le système visuel et perceptif de chaque personne, ils vont également permettre, pour une personne donnée, de comparer les stratégies visuelles adoptées sur différentes cartes.

2. Matériel utilisé : le vidéo-oculographe

Les systèmes d'enregistrement du suivi du regard ont beaucoup évolué au cours des dernières années. Actuellement il n'existe pas moins de trois familles de méthodes :

- La méthode dite par « **traitement d'image** » : une caméra filme le visage de l'utilisateur et un logiciel spécialisé dans la reconnaissance visuelle se charge d'identifier la position de l'œil. Cette méthode présente l'avantage de ne nécessiter que le minimum d'équipement : une caméra et un ordinateur suffisent. La limite de ce type d'appareillage est sa précision relativement **médiocre**, du fait d'une grande sensibilité aux perturbations.
- La méthode basée sur l'utilisation de **lentilles magnétiques** portées par l'utilisateur. Chaque mouvement de l'œil entraîne alors des modifications du champ magnétique extérieur. Ces variations sont enregistrées par des capteurs disposés de part et d'autre des yeux et permettent donc de définir précisément la position et les mouvements. Cette méthode a pour avantage d'être **extrêmement précise**. Par contre, l'équipement requis est particulièrement **coûteux**.
- La méthode dite par « **réflexion cornéenne** » : on éclaire l'œil de la personne testée avec une source de lumière et on le filme le reflet de sa pupille avec une caméra. On observe alors deux grandes familles de reflets sur l'œil. Des reflets fixes dus à la réflexion de la lumière sur la cornée et des reflets mobiles dus à la réflexion de la lumière sur la pupille. La position relative des deux familles de reflets donne l'information sur la position de l'œil. Cette méthode requiert un équipement moins conséquent que la méthode précédente et a comme avantage d'être à la fois **précise** et **moins sensible** aux perturbations extérieures.

L'appareil que nous avons utilisé au sein du CHRU de Bretonneau³⁰ à Tours est basé sur le principe de **réflexion cornéenne**. Cet appareil utilise le principe de Hirschberg (position du reflet cornéen par rapport au centre de la pupille)³¹ et permet de mesurer la direction du regard indépendamment des mouvements de tête. Il s'agit d'un système d'utilisation simple et peu intrusif pour la personne testée. En effet, il n'y a aucun instrument porté directement par l'utilisateur mais ce dernier s'installe sur une mentonnière afin que la tête reste immobile pendant l'expérimentation. Le reflet de la pupille est détecté par une caméra et à partir des variations d'intensité de ce reflet, un logiciel d'analyse des signaux, intégrant un système de calibrage, fournit des informations spatio-temporelles sur les mouvements du regard.



Figure 5 :
 Un ordinateur permet, grâce à un logiciel de l'entreprise Metrovision, de sélectionner l'image à projeter et la durée de projection, et d'enregistrer les mouvements oculaires. Le petit écran au premier plan est utilisé pour le suivi du calibrage au cours de l'expérience : on y voit l'œil de la personne, dont la pupille doit rester au centre d'un quadrillage afin de rester dans le champ de la caméra.

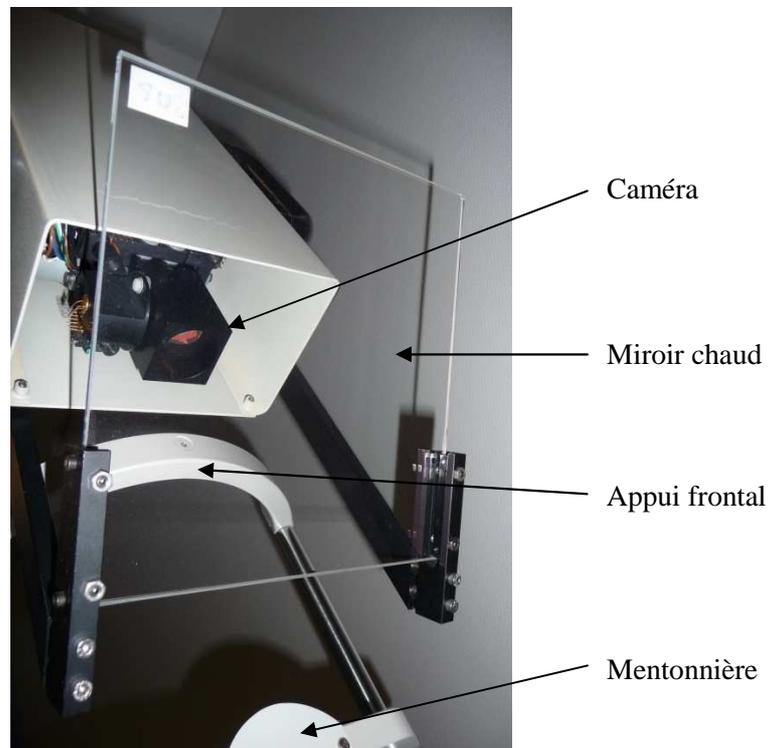
³⁰ Service d'ophtalmologie, unité des explorations fonctionnelles du CHRU de Tours

³¹ www.metrovision.fr ; consulté le 22 novembre 2008

Figure 6 :
La personne testée appuie son menton et son front de manière à maintenir la tête immobile. Seuls les yeux bougent lors de l'observation des cartes projetées sur l'écran d'ordinateur.



Figure 7 :
Pièces principales du système d'acquisition du vidéo-oculographe.



3. Mouvements oculaires : saccades, fixations et poursuites

La quantité d'information est réduite instantanément par l'ordinateur et ne retient que les pauses de l'œil (fixations) et les sauts d'une fixation à une autre (saccades). On peut ainsi définir trois termes clé pour caractériser les mouvements oculaires :

- La **fixation** :

“Fixation is the stabilization of eyes on an object of interest for a certain period of time.”³²

Ce mouvement constitue un arrêt relatif du mouvement oculaire variant entre 150 et 600 ms avec une durée moyenne de 300 ms : il s'agit de la période d'extraction de l'information visuelle.

- La **saccade**

“Saccades are quick movements that move the eyes from one location to the next.”³³

La saccade représente un déplacement oculaire permettant le repositionnement de la fovéa en vue de l'extraction visuelle.

- La **poursuite**

“Scanpath is a directed path formed by saccades between fixations”³⁴.

On définit enfin la poursuite, mouvement oculaire lent utilisé lorsqu'un objet est en mouvement. Nous n'en traiterons pas par la suite.

32 Huzefa KAGDI, Shehnaaz YUSUF, and J. I. MALETIC, Department of Computer Science, Kent State University, (2007), “On Using Eye Tracking in Empirical Assessment of Software Visualizations”, consultable sur le site: <http://www.cs.kent.edu/~jmaletic/papers/WEASELTech07.pdf>, 2 pages.

33 Ibid.

34 Ibid.

PARTIE 3
PROTOCOLE, RESULTATS ET
INTERPRETATIONS

A. Protocole expérimental

1. Le choix des cartes

Le nombre de cartes testées s'élève à 9. L'ensemble des cartes ne traite pas directement du risque d'inondation, cependant, comme nous l'avons vu lors de la partie 2, l'élaboration d'un PPRi, se fait à partir de cartes aux thématiques variées : aléa, enjeu, par exemple. **Les cartes retenues possèdent diverses variables visuelles intéressantes à étudier, telles que la position du titre et de la légende, la composition de la légende, la nature de l'arrière plan, la « complexité » générale de la carte, etc.**

Tableau 3 :
Tableau de synthèse des
différents éléments à tester
pour les 9 cartes
Source : PFE 2008/2009

Le tableau ci-dessous synthétise les principales caractéristiques de chaque carte.

N° de carte	Nom de la carte Et source	Echelle	Position du titre	Position de la légende	Complexité de la légende	Variables visuelles utilisées	Nature de l'arrière plan
S1C1	Une nouvelle image de l'espace français métropolitain	Territoire français	En bas	A gauche	44 figurés répartis en 1 colonne	Données qualitatives : 44 aplats avec variation de couleurs de même intensité	Limites des départements français
S1C2	Le patrimoine naturel en France	Territoire Français Echelle graphique	En haut à gauche	A gauche	8 figurés répartis en 1 colonne ----- Rédigée en 2 langues (Français, Anglais)	Données quantitatives : 2 aplats (verts) avec variation d'intensité ----- Données qualitatives : 1 aplat de couleur (vert) 1 aplat de texture (hachure verte) 3 figurés ponctuels avec variation de forme et de couleur 1 aplat de texture (bleu)	Limites des départements français
S1C3	Les orientations du programme "Université du troisième millénaire"	Territoire Français Echelle graphique	En haut	En bas	11 figurés répartis en 3 colonnes ----- Rédigée en 2 langues (Français, Anglais)	Données quantitatives : 1 figuré ponctuel (rouge) avec variation de la taille proportionnelle 2 figurés ponctuels (rouge) avec variation de l'intensité 2 figurés linéaires (rouge) avec variation de la texture ----- Données qualitative : 5 figurés ponctuels (triangle) avec variation de couleur	Limites des régions françaises

S2C1	<p>Dommages susceptibles de se produire en cas de crues extrêmes ou de défaillance des digues de protection</p>	<p>Absente (1/25000)</p>	<p>En haut</p>	<p>1 colonne à gauche et 1 colonne à droite</p>	<p>9 figurés répartis en 2 colonnes ----- Beaucoup de texte explicatif ----- Même figuré de couleur pour plusieurs informations ----- Certain figuré n'apparaissent pas sur la carte</p>	<p>Données qualitatives : 8 aplats avec variation de couleur de même intensité ----- Données quantitatives : 1 figuré ponctuel (rond) avec variation de la taille non proportionnelle</p>	<p>IGN Top 25 (noir et blanc)</p>
S2C2	<p>Plan d'exposition au bruit (PEB)</p>	<p>1/25000</p>	<p>En haut à droite</p>	<p>En haut à droite</p>	<p>4 figurés en ligne ----- Les intensités des couleurs varient entre la légende et la carte</p>	<p>Données qualitatives : 4 aplats avec variation de couleur de même intensité</p>	<p>IGN Top 25 (couleurs)</p>
S2C3	<p>Plan de prévention des risques d'inondation de bassin de l'Allaine</p>	<p>1/5000</p>	<p>En haut à droite</p>	<p>En bas à droite</p>	<p>11 figurés répartis dans un tableau à double entrées ----- Même figuré de couleur pour plusieurs informations ----- Certains figurés sur la carte ne sont pas répertoriés en légende</p>	<p>Données qualitatives : 1 aplat de couleur (rose) avec variation de l'intensité en ligne et en colonne (équivalent 9 figurés) 1 figuré ponctuel 1 figuré linéaire</p>	<p>Cadastre</p>
S3C1	<p>Les établissements industriels présentant des risques technologiques majeurs et leurs périmètres d'isolement dans un tissu urbain dense</p>	<p>1/75000</p>	<p>En bas et en haut à droite</p>	<p>A droite</p>	<p>26 figurés répartis en 5 colonnes ----- Même couleur utilisées pour plusieurs informations</p>	<p>Données qualitatives : 8 aplats avec variation de couleur de même intensité (couleurs vives) 6 aplats avec variation de couleurs de même intensité (couleurs pastels) 7 aplats (hachure) avec variation de texture et de couleur (couleurs vives) ----- Données quantitatives : 4 figurés linéaires avec variation de texture 1 figuré ponctuel</p>	<p>Limites des communes et du département</p>

S3C2	Spatialisation du risque : conjonction aléas/ vulnérabilité	Territoire intercommunal	En bas	En bas	15 figurés répartis en 3 colonnes ----- Même figuré de couleur pour plusieurs informations	Données quantitatives : 6 aplats bicolores avec une variation de l'intensité 3 aplats (bleu) avec variation de l'intensité ----- Données qualitatives : 3 aplats de couleur avec variation de l'intensité 2 aplats de couleur 1 figuré linéaire	Limites communales
S3C3	le risque d'inondation et infrastructures sensibles sur la commune de Compiègne	Territoire communal	En haut	A droite	8 figurés en 1 colonne	Données quantitatives : 2 aplats de couleur (bleu) avec variation de l'intensité ----- Données qualitatives : 5 figurés ponctuels avec variation de forme et de couleur 1 aplat de texture	Limites de la commune

2. Le questionnaire de l'enquête cognitive (cf. annexes n°2)

Une partie de l'expérimentation repose sur une enquête cognitive, structurée en 5 parties :

- Tout d'abord, l'état civil (partie I) de la personne est demandé : son sexe, sa tranche d'âge, sa formation, son activité professionnelle.
- Ensuite, les questions de la partie II visent à cerner l'utilisation des cartes au sein de l'activité professionnelle des personnes. Nous détaillerons plus tard ces questions, dont les réponses ont été utilisées pour ébaucher (et pour la première fois) une typologie des personnes testées, par une démarche de discrétisation basée sur la moyenne et l'écart type.
- Nous avons par ailleurs choisi d'orienter notre enquête vers les **besoins** des utilisateurs des cartes liées au risque d'inondation. Pour cela, nous avons inséré 2 questions :
 - La première est posée avant l'expérimentation à proprement parlé, juste après la partie « état civil ». Elle a pour but de cerner ce qu'évoque les cartes de risque d'inondation, a priori, pour les personnes testées.
 - Afin de voir si ces évocations correspondent aux besoins réels de ces personnes, une deuxième question leur est posée, cette fois-ci en fin d'exposition des cartes. Cette question demande au sujet de choisir, par l'intermédiaire d'un QCM, 5 des propositions, et/ou d'en ajouter s'il pense qu'un élément n'est pas suggéré.
- La partie III est constituée de la notation de chaque carte et se déroule en alternance avec l'observation des cartes. La personne doit juger les cartes en attribuant une

- note comprise entre 1 et 5 concernant la complexité de la carte, sa densité en information, son côté innovant, son esthétique, ou encore son utilité politique.
- Enfin, la dernière partie (partie IV) repose sur la comparaison de certaines cartes entre elles, pour faire ressortir ce qui est apprécié, ou au contraire critiqué (mécompréhension, trop ou pas assez d'information, etc.) sur ces cartes.

3. Le choix des sujets testés et leur typologie

Nous avons travaillé sur un échantillon de 25 personnes, parmi lesquelles nous avons sélectionné des personnes « témoins » n'ayant aucun rapport aux cartes pour leur activité professionnelle, des universitaires, spécialisés en cartographie ou non, et des techniciens, tous concernés, directement ou indirectement, par le risque d'inondation dans le cadre de leurs activités professionnelles.

Afin de déterminer notre typologie des personnes testées, nous avons utilisé leurs réponses concernant les questions II.1, II.2, et II.3, c'est-à-dire celles traitant de l'utilisation des cartes au sein de leur activité professionnelle. Nous avons pour cela mis en place un système de notation, suivi d'une démarche de discrétisation pour ventiler les candidats dans telle ou telle classe.

Ainsi, pour la question II.1. (A quelle fréquence utilisez-vous des cartes dans votre activité professionnelle ?), les points sont attribués de la façon suivante:

- 1 point pour la réponse « moins d'une fois par an »
- 2 points pour « une fois par an »
- 3 pour « une fois par mois »
- 4 pour « une fois par semaine »
- 5 pour « plus d'une fois par semaine »

De même, pour la question II.2 (Les cartes que vous utilisez dans votre profession sont :) :

- 1 point pour la réponse « seulement issues de sources externes »
- 2 pour « généralement réalisées par des unités externes »
- 3 pour « généralement réalisées par votre équipe ou service »
- 4 pour « généralement réalisées par vous »

Enfin, nous avons synthétisé les réponses à la question II.3. (Dans votre profession, les cartes sont principalement :). Dans la colonne « type d'utilisation » :

- 1 correspond donc à la réponse « une illustration »,
- 2 à « un outil de recherche »,
- et 3 à « un outil pour la décision ».

Certaines personnes ont répondu qu'elle n'avait recours qu'à un type d'utilisation, alors que d'autres ont tout coché. La colonne « nombre de types d'utilisation » cumule le nombre de ces réponses.

Tableau 4 :
Tableau de synthèse des
résultats aux questions II.1,
II.2 et II.3
Source : PFE 2008/2009

Nom	Origine des cartes	Fréquence d'utilisation	Types d'utilisations	Nbre de types d'utilisations
Bois	0	0 ³⁵	0	0
Burel	0	0	0	0
Bernard	0	0	0	0
Marquelet	0	0	0	0
Huet	0	0	0	0
Lepère	2	2	1,3	2
Mioland	1	3	1	1
Robin	2	2	1,2	2
Le Hapler	2	3	2	1
Faure	1	5	1,3	2
Laclergue	1	5	1,2,3	3
Munier	3	3	3	1
Baptiste	2	5	3	1
Bouchad	2	5	3	1
Cavelier	2	5	1	1
Chaumet	2	5	3	1
Petit	3	4	2,3	2
Cappelle	3	5	1,3	2
Poisson	3	5	1,2,3	3
Toulat	3	5	1	1
Buguellou	4	5	1,2,3	3
Guimas	4	5	1,2	2
Salaun	4	5	1,2,3	3
Trouvé	4	5	1,3	2
Voyer	4	5	1	1

Nous pouvons constater que les trois questions ne sont pas notées sur la même échelle. Il n'est donc pas possible de croiser ces variables par addition ou soustraction.

Nous avons ensuite, pour les réponses à chaque question, calculé la moyenne et l'écart type de la série. Les résultats, formant trois catégories pour chaque question, sont présentés sur le schéma ci--après.

³⁵ Les « 0 » du tableau correspondent à des personnes n'ayant aucune utilisation des cartes au sein de leur activité professionnelle.

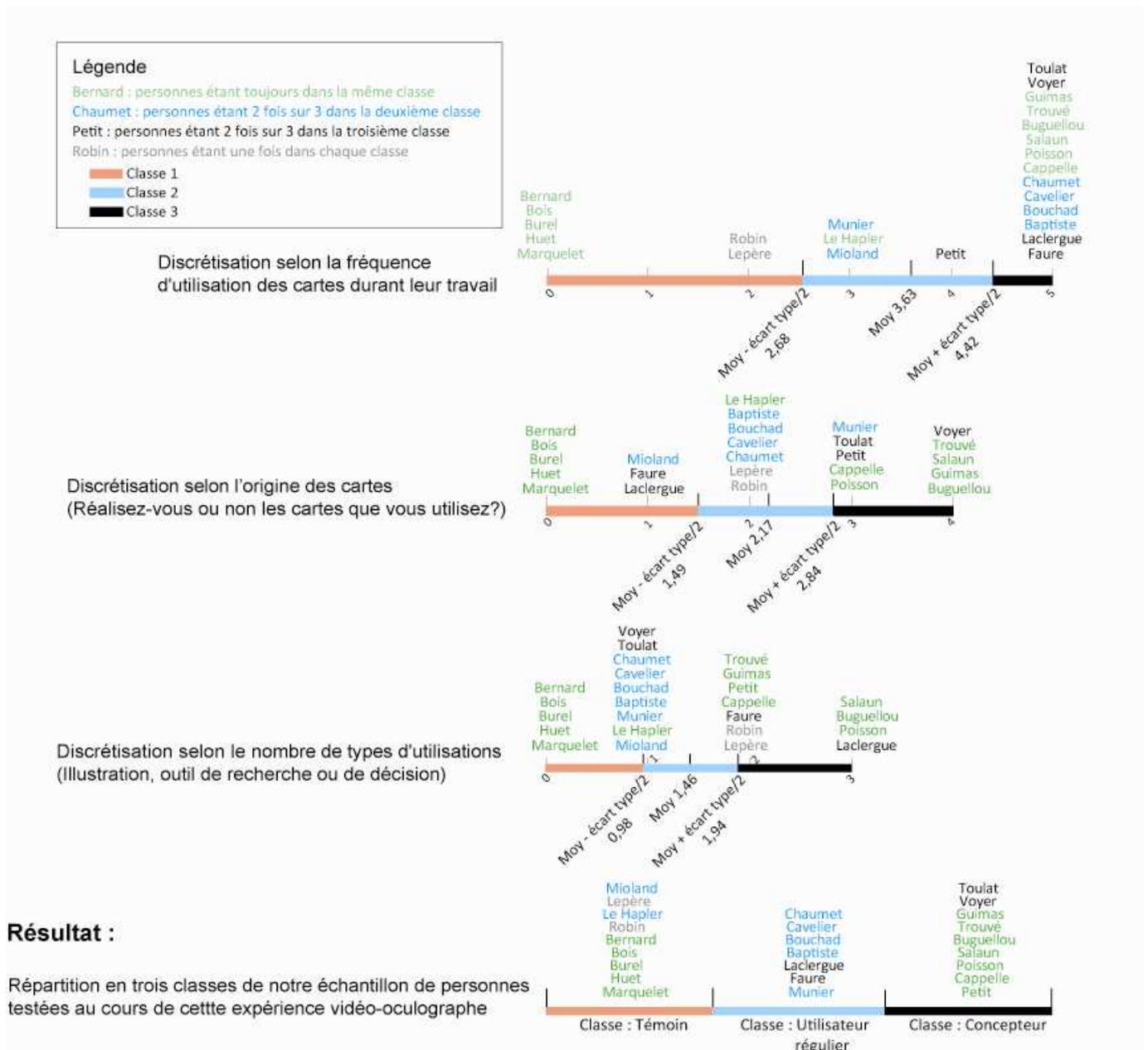


Figure 8 :
Méthode utilisée pour obtenir la discrétisation de l'échantillon
Source : PFE 2008/2009

On peut voir que certaines personnes ont des réponses qui les placent dans des classes différentes pour chaque réponse (en gris sur le schéma). Nous nous sommes permis de « réajuster » leur placement en fonction de ce que nous connaissons d'elles (formation demandée dans le questionnaire, profession exercée). Ainsi, sur les 25 personnes testées, seules 6 personnes ne sont pas majoritairement situées dans une unique catégorie par notre méthode de discrétisation.

On aboutit, après synthèse et réajustements éventuels des trois séries de réponses, à trois catégories :

- Catégorie 1 : « Témoins ».

Il s'agit là de personne n'ayant pas ou presque pas recours aux cartes pour leur activité professionnelle.

On trouve par exemple parmi ces « témoins », des personnes du service orthoptie, qui n'utilisent jamais de carte, sauf occasionnellement hors cadre professionnel. Certaines personnes, comme la bibliothécaire ou la secrétaire d'un service des stages sont quant à

elle occasionnellement confronté à des cartes diverses au sein de leurs fonctions. Ces personnes ont un nombre moyen de types d'utilisations de 0,7.

- Catégorie 2 : « Utilisateurs réguliers »

Il s'agit là de personnes ayant une utilisation régulière des cartes dans leur activité professionnelle, mais qui ne sont généralement que les destinataires de ces cartes. Ils les utilisent comme outils, mais ne les conçoivent pas. Le total de point de cette catégorie varie entre 6 et 7. On trouve des personnes formées aux cartes, mais dont la cartographie n'est pas la spécialité. Leur nombre moyen de types d'utilisations est de 1,5, ce qui est bien supérieur à la catégorie précédente.

- Catégorie 3 : « Concepteurs »

Il s'agit là de personnes pour lesquelles les cartes sont un outil de travail fondamental, souvent produit en interne. On les considère, qu'ils fassent réaliser la carte dans leurs services ou qu'ils la conçoivent eux même, comme des concepteurs ayant des habitudes d'utilisation des cartes différentes de ceux des « utilisateurs réguliers ». Le total de points de cette catégorie est supérieur à 7. Il s'agit de personnes pour qui les cartes sont à la fois un outil de connaissance et de recherche, et un outil d'aide à la décision. Leur nombre moyen de types d'utilisations est de 2,1, ce qui illustre bien un recours très fréquent aux cartes.

4. Les enregistrements

a) Les contraintes et la nécessité d'effectuer un pré test

A la suite de la définition du protocole expérimental, nous avons réalisé une première série d'enregistrements (personnes 1 à 4). Ces enregistrements ne sont pas pris en compte lors de l'analyse finale car l'ensemble des personnes testées avait préalablement connaissance des cartes soumises au test. Ce pré-test a servi à vérifier que le protocole fonctionnait correctement, à anticiper certaines difficultés, à nous « auto-former ». En effet, certaines contraintes doivent être prises en compte, comme par exemple :

- Les personnes possédant des lunettes ou des lentilles de contact sont également à éviter car cela peut induire des difficultés de suivi du reflet de l'œil. Il est donc quasi nécessaire que les personnes testées soient capable de lire sans correction un écran situé à un mètre.
- Certaines personnes présentent une réaction individuelle différenciée à la lumière trop importante pour l'expérimentation (pupille trop petite ou trop grande pour établir un tracé correct).
- D'autres problèmes peuvent également survenir durant l'expérimentation, comme par exemple un assèchement de l'œil. Le reflet ne peut alors plus suffisamment être capé. Il faut alors dans ce cas arrêter les démarches et demander au candidat de cligner des yeux. Donner la consigne « clignements à volonté » en début d'expérience permet souvent d'éviter cette difficulté.

b) Le déroulement des séances d'enregistrements au sein du service ophtalmologique de l'hôpital

Les enregistrements ont été effectués de manière individuelle en présence des étudiants réalisant cette étude et d'une opératrice du CHRU³⁶, responsable de l'appareil vidéo-oculographe. Chaque test dure en moyenne une trentaine de minutes par personne et est régie par une série de procédures.

L'utilisation du système de poursuite de mouvements oculaires peut être divisée en étapes³⁷ : l'installation du sujet, l'ajustement, la calibration et l'enregistrement des données.

- La phase d'installation du sujet, d'explications et de consignes

Dès l'arrivée de la personne testée, une présentation du travail est dispensée et les grands objectifs de l'étude sont énoncés. Il est également évoqué le protocole expérimental en rappelant que cette étude est indolore car l'appareil ne touche pas les yeux. Les candidats remplissent la première partie du questionnaire comportant des questions d'ordre générale (âge, profession, etc.) ainsi qu'une question ouverte sur l'attente qu'ils ont des cartes de risques. Ensuite, le sujet se place en position assise devant la caméra et en face de l'écran où vont défiler les cartes à étudier.

- La phase d'ajustement

L'ajustement consiste à paramétrer les différents éléments du système afin de détecter la pupille de la personne testée. La reconnaissance se fait uniquement sur un œil, souvent celui de la « main qui écrit ». Il faut également ouvrir un fichier au nom de la personne testée afin d'enregistrer les résultats.

- Le calibrage

Le calibrage est effectué une seule fois (en théorie) au début de l'expérimentation. Il consiste à demander à l'utilisateur de fixer successivement 5 points apparaissant à l'écran. Au départ ce point est situé au centre de l'écran puis celui-ci se déplace dans les angles de manière à assurer une parfaite correspondance entre les positions enregistrées par le vidéo-oculographe et les positions réelles des informations sur l'écran.

- Les enregistrements et les réponses au questionnaire

Le visionnage de chaque carte dure **15 secondes**. Le regard de la personne parcourt alors la carte et l'ensemble des mouvements est enregistré. Entre chaque carte, le candidat répond à une série de cinq questions portant sur la carte qu'il vient de regarder. Ces questions permettent de prendre en compte l'aspect mémorisation des informations de ces cartes.

A la fin du test, le sujet doit répondre à la troisième partie du questionnaire, consistant à comparer certaines cartes entre elles et à justifier laquelle il préfère. Après les avoir vu à l'aide du vidéo-oculographe, la personne testée doit tenter de se souvenir des cartes étant donné que dans le questionnaire elles sont incluses sous forme de petites images ne permettant pas de distinguer les détails.

36 Mme. Serrhini

37 Citation de Nevalainen et Sajaniemi, (2004) tirée de Schneider E.

De manière à inclure la personne testée un peu plus dans l'étude, nous lui présentons les premiers résultats issus de sa propre participation. Il peut ainsi voir en temps réel le déplacement de son œil sur une des cartes.

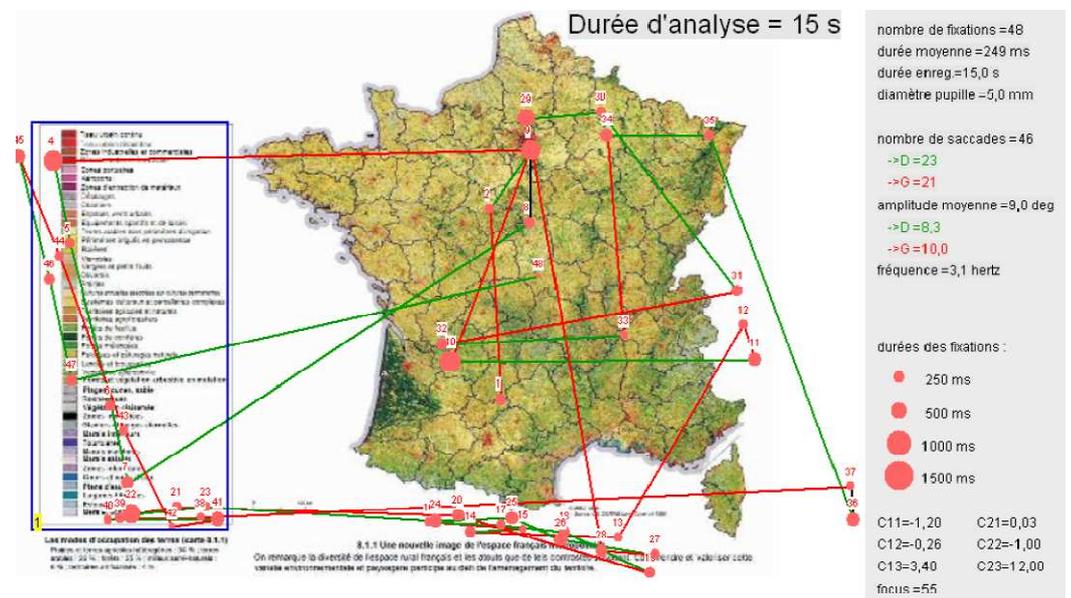
5. L'extraction des données

Grâce au logiciel Métrovision, il est possible d'extraire 3 types de renseignements :

a) Données et analyses spatiales des mouvements oculaires

Quels sont les éléments qui attirent le plus le regard ? Ce parcours (voir figure) est obtenu par une analyse de l'enregistrement, qui extrait les saccades et les fixations. Sur ce document les fixations apparaissent sous la forme de ronds rouges dont la taille est fonction de la durée de la fixation. Les saccades sont quant à elles représentées par les traits : celles orientées dans le sens de la lecture (occidentale) sont en vert alors que celles en sens contraire sont en rouge.

Figure 9 :
Analyse spatiale des
mouvements oculaires
Source : PFE 2008/2009

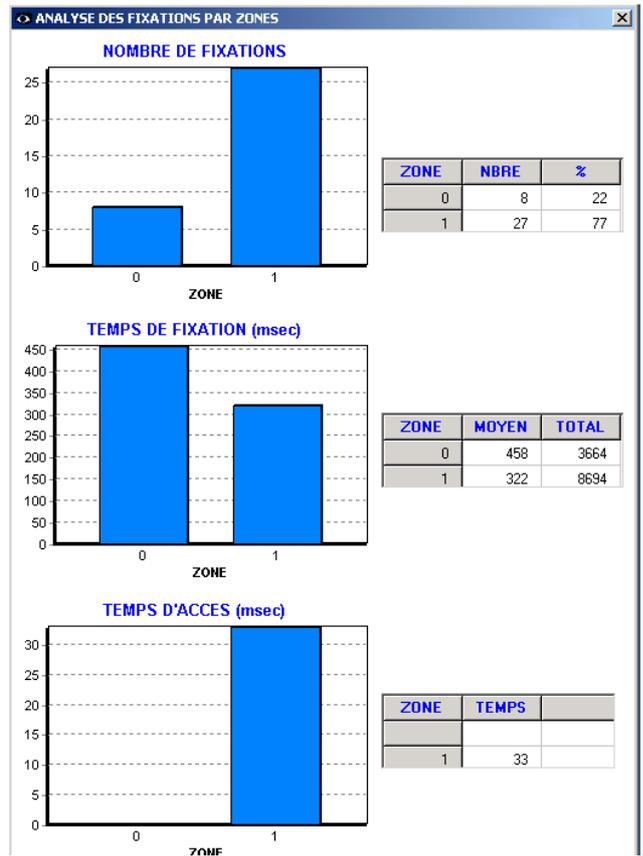
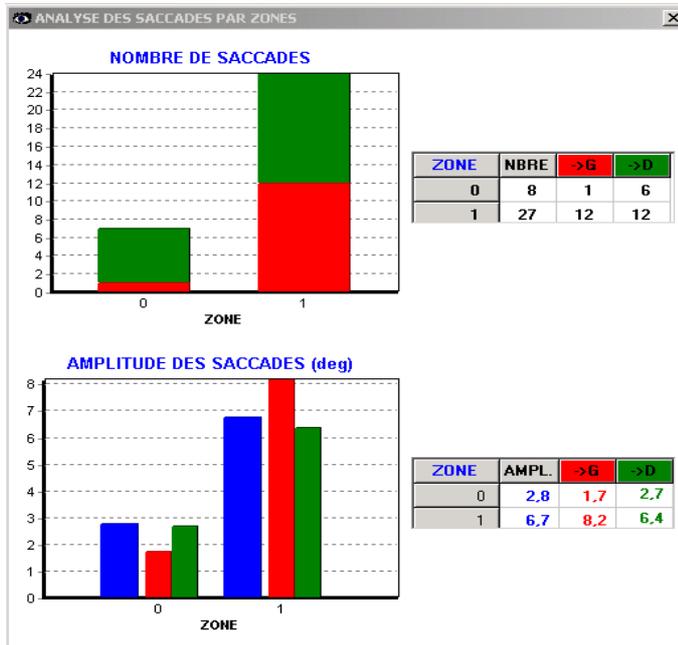


Les données statistiques extraites de l'analyse spatiale comprennent un enregistrement du nombre total de fixations, de la durée moyenne de chaque fixation, du nombre total de saccades et de leur orientation, de l'amplitude moyenne des saccades et de leur fréquence (nombre de saccades par seconde).

b) Données et analyses par zones d'intérêt

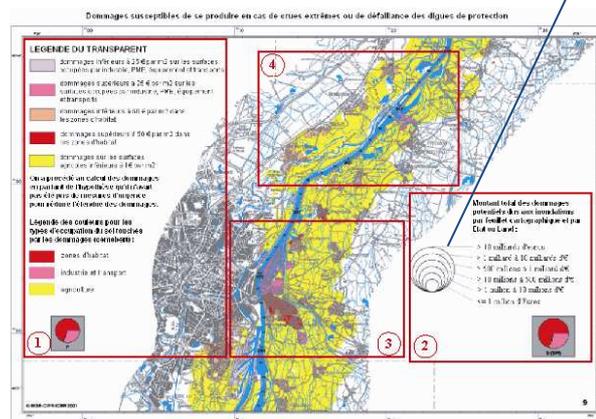
Ces analyses sont réalisées lorsqu'un découpage par zones d'intérêt a été préalablement défini. Le logiciel produit les mêmes statistiques que pour l'analyse précédente, mais en distinguant les résultats par zone.

Figure 10 :
Analyse des mouvements oculaires par zones
d'intérêt
Source : PFE 2008/2009



Avant l'enregistrement, il nous a pour cela été nécessaire de définir des zones d'intérêt pour chaque carte. Ces zones ont été créées de manière à tester les éléments mis en relief par l'étude des cartes. Le logiciel Métrovision permet de créer autant de zones que l'on veut. Seule la taille est réglable, la forme imposée est rectangulaire. Cette méthode ne permet donc pas d'appliquer la zone d'intérêt avec précision (par exemple : une rivière cartographiée en diagonale sur l'image).

Figure 11 :
Création des zones
d'intérêt pour la carte 4
Source : PFE 2008/2009



Exemple :

Sur cette carte, il est intéressant d'étudier la position des légendes (1 et 2). De plus nous avons fixé deux zones globalement similaires en termes de contenu d'informations (3 et 4) pour regarder l'influence du positionnement des éléments les uns par rapport aux autres. L'objectif est de tester l'hypothèse suivante : « La zone 3 est probablement plus regardée que la 4 car située entre les 2 légendes. »

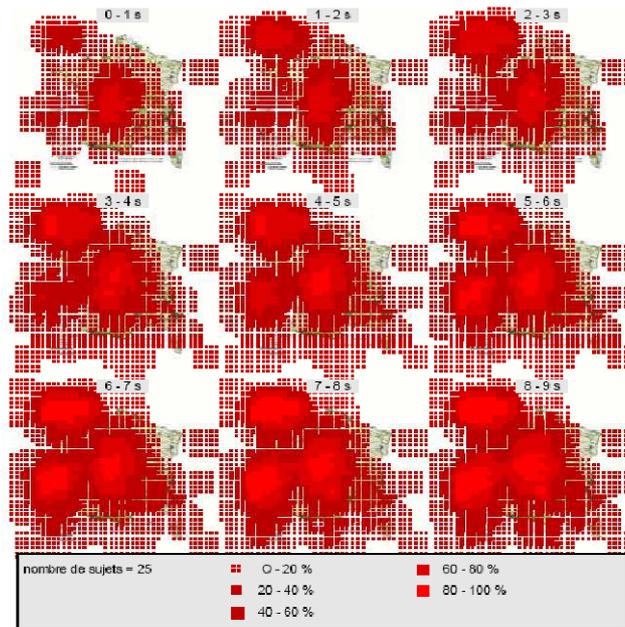
c) Données et analyses dynamiques des mouvements oculaires

Quelles sont les stratégies visuelles des sujets ?

Cette analyse prend en compte automatiquement tous les résultats de la base de données (projet d'étude sur la cartographie des risques d'inondation). Elle permet d'étudier le temps d'accès moyen aux différents éléments de l'image, ainsi que la probabilité d'accès à ces mêmes éléments.

Le temps d'accès moyen indique les secteurs de l'image qui ont été vus en 1, 2, 3 jusqu'à 9 secondes. L'ensemble de la carte tend progressivement à être couvert par le regard des personnes testées.

Figure 12 :
Analyse dynamique de la
carte 2.
Source : PFE 2008/2009



B. Résultats et interprétations

Introduction

Nous avons vu précédemment que notre échantillon est composé de 25 personnes réparties en un bon équilibre de 14 femmes et 11 hommes. Le niveau d'étude des personnes de l'échantillon est relativement élevé : 80% de l'échantillon a déclaré avoir un niveau supérieur au bac+2. Parmi eux, quatre personnes possèdent ou sont en cours de validation d'un diplôme de docteur (bac+8) en aménagement ou dans des domaines proches, et 60% ont suivi ou suivent une formation en lien direct avec l'aménagement. De manière générale, hormis les personnes travaillant dans le domaine médical, ces personnes ont dans leur formation ou dans leur exercice professionnel un contact direct avec les cartes. La répartition des classes d'âge est également « relativement homogène » avec 40% de personnes ayant entre 20 et 30 ans, 24% entre 30 et 40, 36% entre 40 et 50 ans.

En revanche, en ce qui concerne la répartition des professions l'équilibre n'est pas optimal, avec 36% d'universitaires et 40% de fonctionnaires mais uniquement 4% de personne travaillant dans le privé. Notons également les 20% de profession médicale,

nous servant ici de personnes « témoins ». Sur les 25 personnes, seules deux ont des responsabilités municipales. La catégorie « Elus » possède donc une part relativement faible. Ceci s'explique par le manque de disponibilité de ces derniers mais également par le fait que plusieurs ont préféré nous mettre en relation avec leurs techniciens. Cependant, la diversité qui anime l'ensemble de cet échantillon permet de penser que chaque « groupe » va posséder des attentes propres concernant les cartes de risque.

1. Des besoins différents en fonction du type de destinataires

a) Exploitation de l'enquête cognitive

Grâce à l'enquête cognitive réalisée durant le test du vidéo-oculographe, il est possible d'estimer ce que chaque groupe pense des cartes qui leur ont été soumises. D'après les réponses au questionnaire (partie 3) il est possible de mettre en place une technique de notation des cartes. Les **différents critères** notés de 1 à 5 (avec donc la même échelle) portent sur :

- La complexité de la carte
- La densité d'information
- L'innovation (c'est à dire l'originalité de la carte)
- L'esthétique
- L'intérêt décisionnel

Légende du tableau ci-après :

	Note la plus faible pour cette carte.
	Note la plus haute pour cette carte.
91	Note la plus haute pour l'ensemble des cartes sur ce critère.

Signification des notes du tableau ci-après, pour chaque critère :

Chaque note est la somme des notes individuelles collectées par l'enquête cognitive.

- Le critère « complexité » : Les cartes ayant des notes faibles correspondent à « relativement difficile à lire et à comprendre ». Une note forte correspond donc à une carte facile d'accès pour l'ensemble de notre échantillon.
- Le critère « densité » : Une note faible montre que les gens n'ont pas apprécié la densité de la carte, la jugeant excessivement chargée. Une note forte est donc représentative d'une carte possédant un grand nombre d'informations, c'est à dire une densité importante. Le critère densité est dans ce contexte vu comme un élément limitant la compréhension facile de la carte. Une note forte signifie un nombre limité mais suffisant d'informations présent sur la carte.
- Le critère « innovation » : Plus la note est haute, plus la carte est jugée innovante (que l'on n'a pas l'habitude de voir).
- Le critère « esthétique » : Bien que plus subjectif, plus la note est haute, plus les personnes constituant l'échantillon ont apprécié la carte.
- Le critère « intérêt décisionnel » : Fonctionne comme les deux critères précédents.

Tableau 5 :
Tableau de synthèse des réponses de la partie 3
du questionnaire

Source : PFE 2008/2009

	complexité	densité	innovation	esthétique	intérêt	Total
1. Une nouvelle image de l'espace français métropolitain	66	38	47	68	66	285
2. Le patrimoine naturel en France	79	60	44	62	71	316
3. Les orientations du programme « universités du 3e millénaire »	53	45	60	63	68	289
4. Dommages susceptibles de se produire en cas de crue extrême ou de défaillance des digues de protection	57	44	63	71	91	326
5. Plan d'exposition au bruit	85	82	62	75	76	380
6. Plan de préventions des risques d'inondation du bassin de l'Allaine	73	74	58	62	89	356
7. Les établissements industriels présentant des risques technologiques majeurs et leur périmètre d'isolement dans un tissu urbain dense	65	50	62	65	79	321
8. Spatialisation du risque : conjonction aléas/vulnérabilité	70	62	70	77	82	361
9. Le risque d'inondation et infrastructures sensibles sur la commune de Compiègne	89	69	64	76	88	386
Total de points par critère	637	524	530	619	710	
Moyennes	70,8	58,2	58,9	68,8	78,9	335,6

Tableau 6 :
Coefficients de corrélation
entre les différents critères du
tableau 6.

Source : PFE 2008/2009

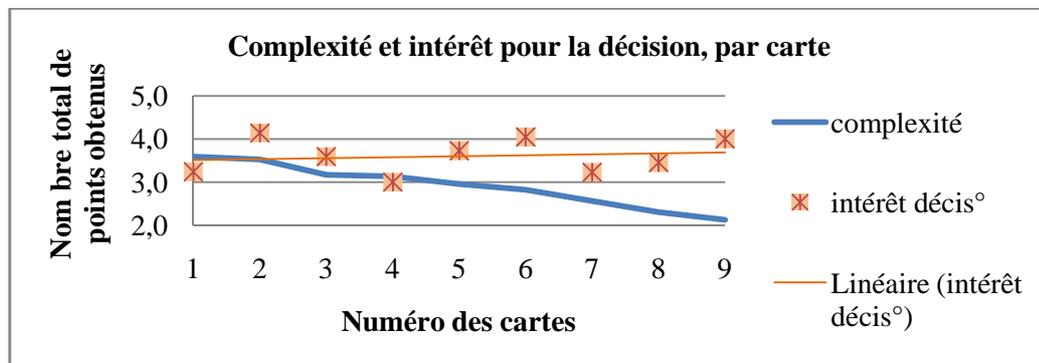
	Complexité	Densité	Innovation	Esthétique	Intérêt
Complexité	1	0,80	-0,04	0,40	0,19
Densité			0,27	0,31	0,37
Innovation				0,62	0,60
Esthétique					0,34
Intérêt					1

Le tableau de synthèse ci-dessus permet de se rendre compte de plusieurs éléments :

- Nous pouvons noter que l'ensemble de l'échantillon de personnes a le plus fortement noté le critère de « *l'intérêt décisionnel* » : moyenne égale à 78,9.
- *L'innovation* de la carte n'apparaît pas comme l'un des critères primordiaux, étant donné son total de points très faible : avant dernière moyenne, égale à 58,9.

- Le critère « *densité* » apparaît comme l'élément le plus durement jugé par l'échantillon, avec une moyenne de 58, 2.
- Il semblerait qu'au vu du coefficient de variation faible (0, 19), il n'y ait pas co-variation entre *l'intérêt décisionnel et la complexité*. Une carte complexe ne sera donc pas forcément la plus intéressante, comme l'illustre la carte 3 qui est complexe (note basse égale à 53) sans pour autant présenter un fort intérêt politique (note basse égale à 68).

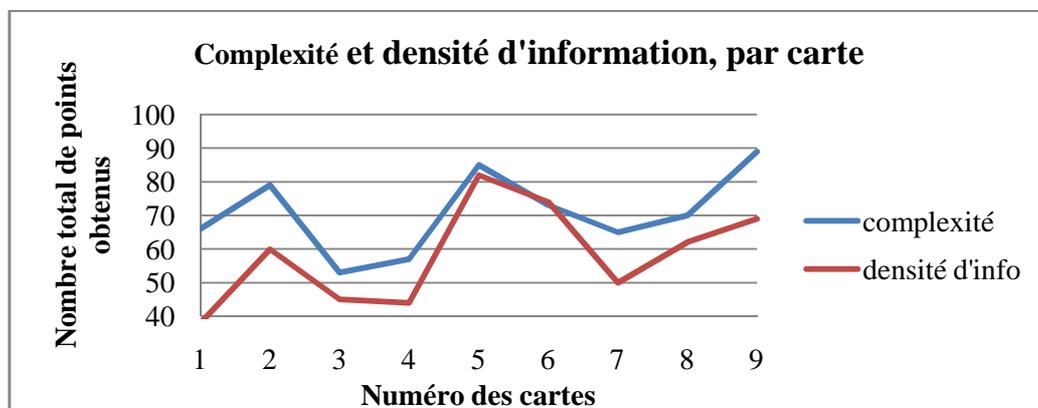
Figure 13 :
Absence de co-variation entre
la complexité d'une carte et
son intérêt décisionnel.
Source : PFE 2008/2009



La co-variation entre *intérêt décisionnel* et *densité de l'information* est faible également, avec un coefficient de 0, 37.

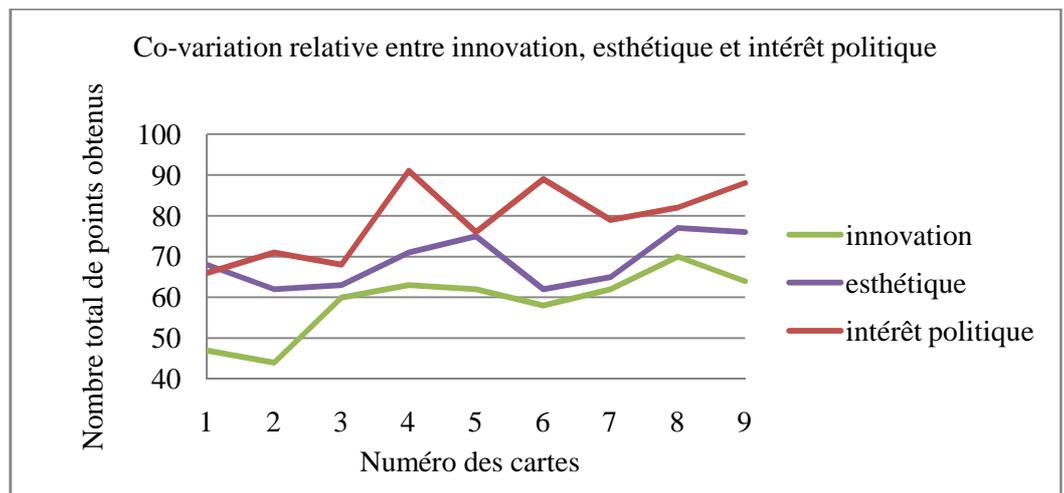
- En revanche, pour notre échantillon, on constate une bonne co-variation entre *complexité et densité de l'information*, avec un coefficient de corrélation de 0,80. Plus la carte est dense (courbe rouge), plus la carte est donc difficile à lire (courbe bleue). Cependant, « complexité » et « densité » ne sont pas assimilables car d'autres critères interviennent pour définir le premier des termes.

Figure 14 :
Co-variation entre densité
d'informations et complexité
de la carte.
Source : PFE 2008/2009



- La carte 8 est considérée comme la plus *esthétique et la plus innovante*, notamment de par le fait qu'elle croise l'aléa aux vulnérabilités avec un nombre de figuré relativement peu important. Ceci participe grandement au fait que l'ensemble des personnes testées classent cette carte comme l'une des « meilleures » de notre panel. Ces deux critères qui sont relativement bien corrélés, avec un coefficient de corrélation égal à 0,62. De même, si *l'innovation* semble contribuer à l'esthétique, elle contribue également en partie à *l'intérêt politique*, avec un coefficient de corrélation égal à 0,60.

Figure 15 :
Co-variation relative entre innovation, esthétique la carte et intérêt politique.
Source : PFE 2008/2009



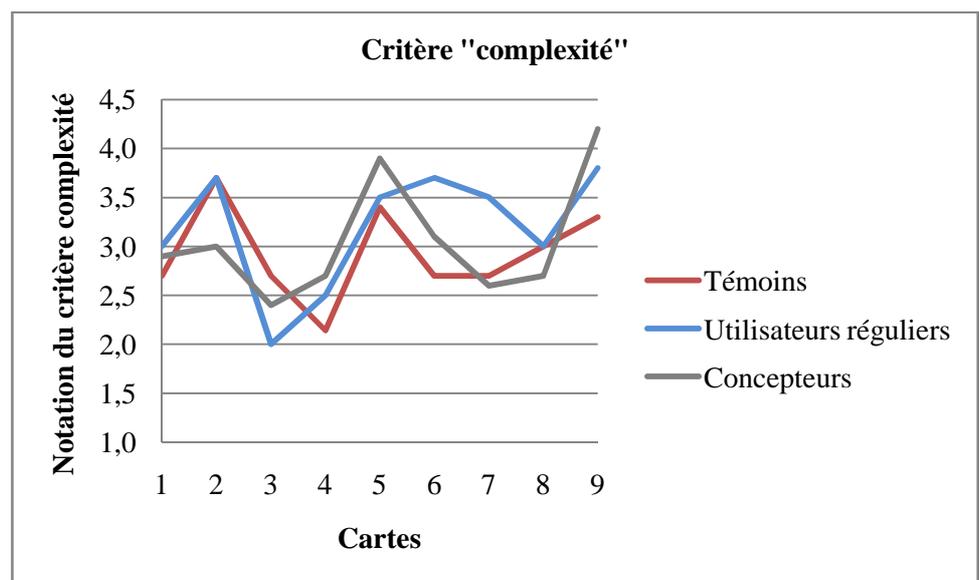
Il est maintenant possible de s'intéresser aux réponses de manière à faire ressortir les besoins et attentes de chaque **groupe** de personnes en termes de cartographie :

Tableau 7 :
Tableau de synthèse des réponses de la partie 3 du questionnaire (notes moyennes par carte, critère et groupe)
Source : PFE 2008/2009

		Complexité	Densité d'info.	Innovation	Esthétique	Intérêt
carte 1	Témoin	2,7	1,4	2,3	2,7	3,5
	Utilisateur	3,0	1,6	1,9	3,1	2,0
	Concepteur	2,9	1,9	2,2	3,0	3,4
	Moyenne	2,9	1,6	2,1	3,0	3,0
carte 2	Témoin	3,7	3,3	2,5	2,6	3,3
	Utilisateur	3,7	2,7	1,6	2,9	2,9
	Concepteur	3,0	2,0	2,0	2,7	3,4
	Moyenne	3,5	2,7	2,0	2,7	3,2
carte 3	Témoin	2,7	2,0	3,0	3,4	4,0
	Utilisateur	2,0	2,0	2,5	2,5	2,7
	Concepteur	2,4	2,1	3,0	2,7	3,1
	Moyenne	2,4	2,0	2,8	2,9	3,3
carte 4	Témoin	2,1	2,1	3,3	3,1	4,7
	Utilisateur	2,5	1,7	2,4	2,7	3,9
	Concepteur	2,7	1,9	2,9	3,3	4,0
	Moyenne	2,4	1,9	2,9	3,1	4,2
carte 5	Témoin	3,4	3,3	3,0	3,1	4,2
	Utilisateur	3,5	3,7	2,4	3,0	2,9

	Concepteur	3,9	3,7	3,0	3,6	3,4
	Moyenne	3,6	3,6	2,8	3,2	3,5
carte 6	Témoin	2,7	3,0	2,3	2,7	4,0
	Utilisateur	3,7	3,7	2,6	2,7	4,1
	Concepteur	3,1	3,0	2,9	2,7	4,0
	Moyenne	3,2	3,2	2,6	2,7	4,0
carte 7	Témoin	2,7	2,4	3,2	3,0	4,0
	Utilisateur	3,5	2,3	2,7	2,6	3,6
	Concepteur	2,6	1,9	2,7	2,9	3,3
	Moyenne	2,9	2,2	2,9	2,8	3,6
carte 8	Témoin	3,0	2,7	3,2	3,9	4,0
	Utilisateur	3,0	2,6	2,6	2,9	3,6
	Concepteur	2,7	2,8	3,7	3,3	3,7
	Moyenne	2,9	2,7	3,2	3,3	3,7
carte 9	Témoin	3,3	3,0	2,7	3,6	4,3
	Utilisateur	3,8	3,1	3,3	3,4	3,9
	Concepteur	4,2	2,9	2,8	3,0	3,9
	Moyenne	3,8	3,0	2,9	3,3	4,0

Figure 16 :
Notation du critère
« complexité » en fonction des
cartes.
Source : PFE 2008/2009



Critère **complexité** : le groupe « Témoin » a eu, comparativement aux autres groupes, du mal à lire les cartes 1, 3, 6, 7 (notes les plus faibles pour les témoins et pour le critère complexité) et surtout la carte 4 (note : 2,1). Pour ces 5 cartes, dont

les notes sont inférieures ou égales 2,7, (alors que les autres sont supérieures ou égales à 3), les difficultés de lectures sont certainement à mettre en lien avec un manque d'habitudes de lecture des cartes. Les cartes 5 et 9 sont celles les mieux notées par les concepteurs pour la complexité. Les « Utilisateurs » ont quand à eux éprouvé des difficultés avec les cartes 3 et 4 mais apprécient les cartes 2, 5, 6, 7 et 9, dont les notes sont supérieures à 3,5.

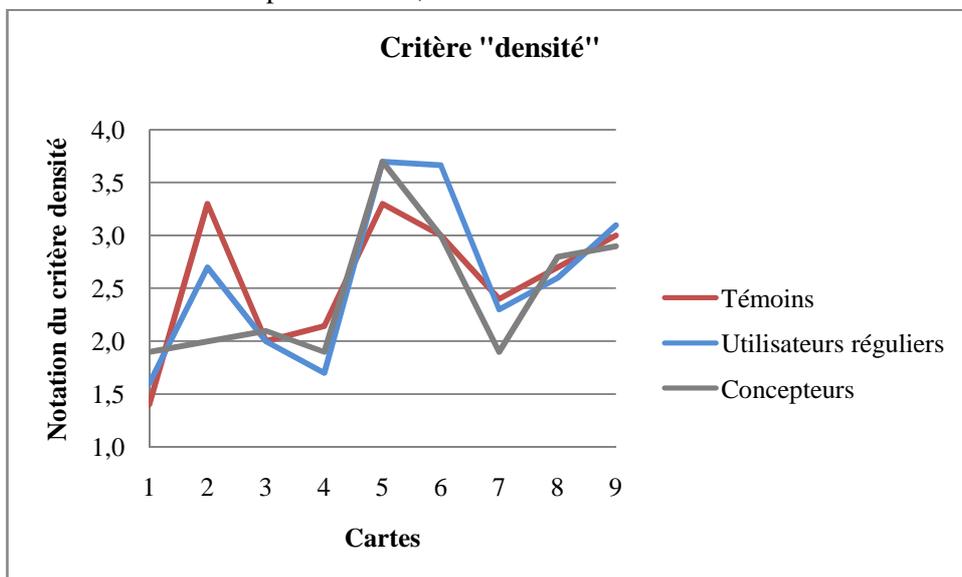


Figure 17 :
Notation du critère « densité »
en fonction des cartes.
Source : PFE 2008/2009

En matière de **densité**, on retrouve des traits communs pour l'ensemble des groupes. En effet, la carte 1 apparaît pour les trois groupes comme étant la plus dense en informations (44 aplats de couleurs), la carte 5 est au contraire considérée comme la moins dense (4 aplats). Les « Témoins » trouvent également que la carte 2 est relativement peu dense. La carte 6 ressort également comme peu dense pour le groupe « Utilisateur ». A l'inverse, les cartes 4 et 7 apparaissent comme denses pour les « Concepteurs », qui considèrent avec une certaine importance l'intérêt de ces deux cartes. Ceci signifie que pour les personnes les plus habituées aux cartes, la complexité n'est pas associée à la densité d'informations.

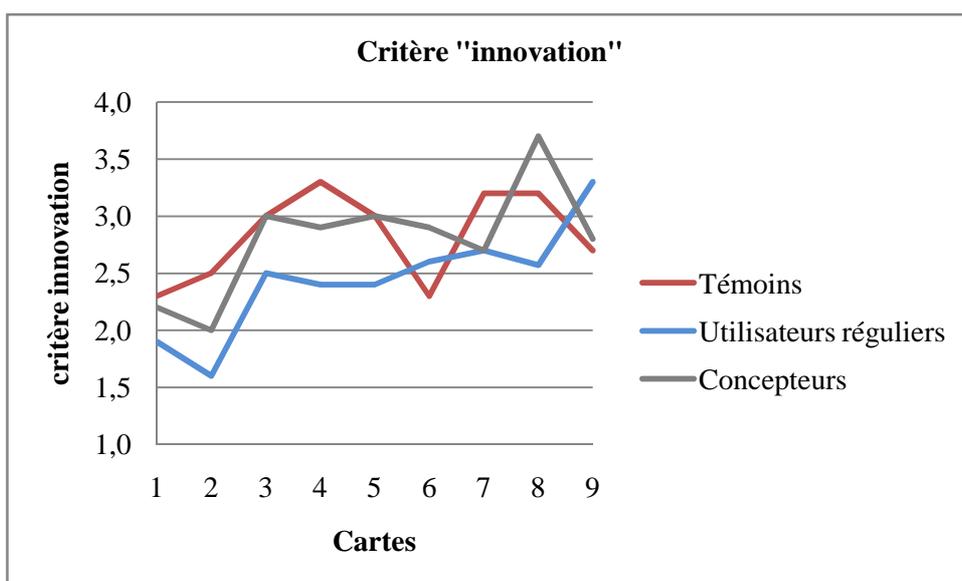


Figure 18 :
Notation du critère
« innovation » en fonction des
cartes.
Source : PFE 2008/2009

En termes **d'innovation**, la carte 2 convient le moins à deux groupes sur trois (Utilisateur et Concepteur). Les « Témoins » quant à eux font ce constat sur les

cartes 1 et 6, alors qu'ils apprécient la carte 4. Les cartes 8 et 9 sont considérées respectivement par les « concepteurs » et les « utilisateurs réguliers » comme étant les plus innovantes.

Figure 19 :
Notation du critère
« esthétique » en fonction des
cartes.
Source : PFE 2008/2009

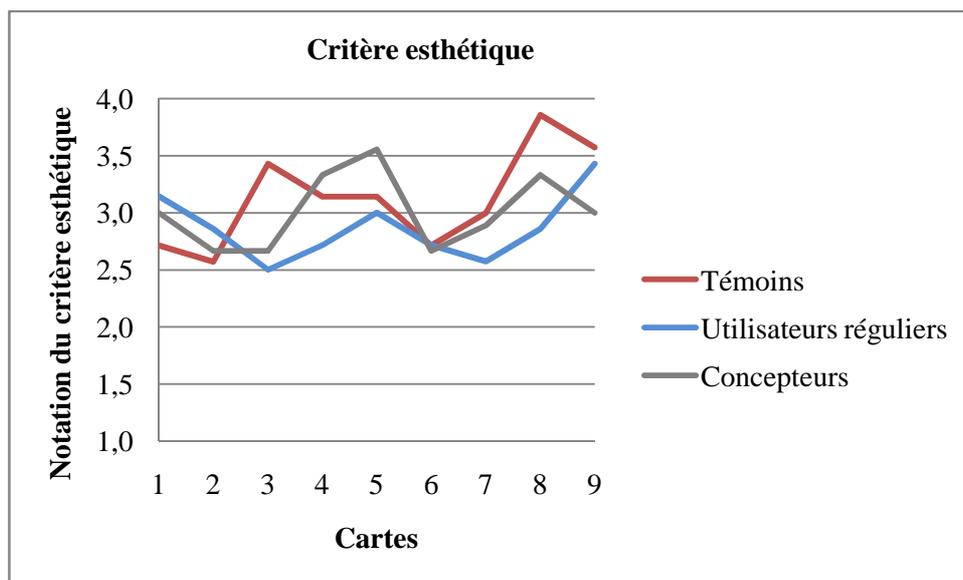
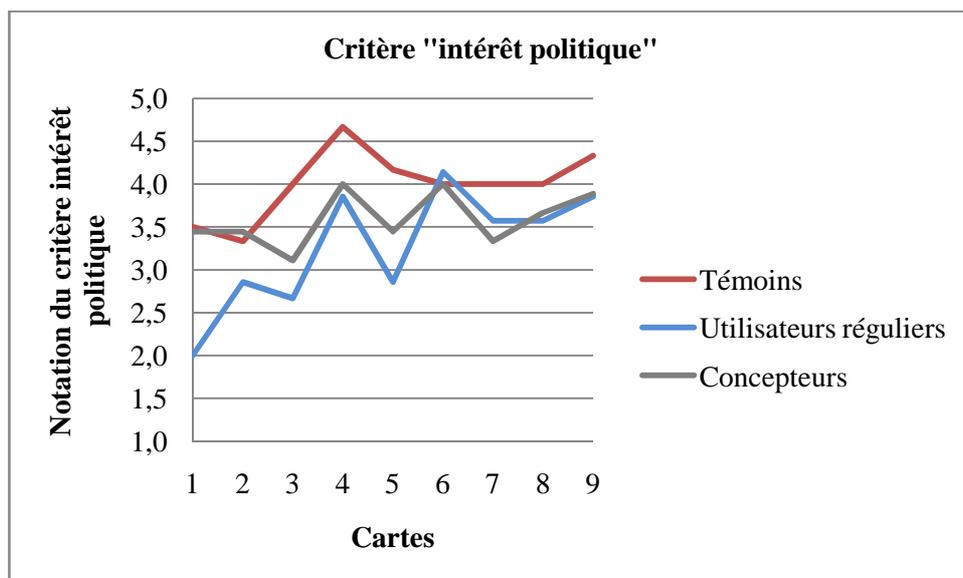


Figure 20 :
Notation du critère « intérêt
politique » en fonction des
cartes.
Source : PFE 2008/2009



En termes **d'intérêt décisionnel**, les cartes à l'échelle du territoire Français sont en net désavantage (utilisateur : carte 1, témoin : carte 2 et concepteur : carte 3). Enfin, les cartes 4 et 6 apparaissent pour deux classes sur trois comme étant les plus intéressantes d'un point de vue politique.

Ainsi, il apparaît que chaque catégorie de public n'a pas les mêmes attentes en matière de cartographie :

Tableau 8
Tableau de synthèse :
préférence des cartes en
fonction du type de
destinataires
Source : PFE 2008/2009

	Complexité	Densité d'information	Innovation	Esthétique	Intérêt
Témoins	carte 2	carte 2 et carte 5	carte 4	carte 8	carte 4
Utilisateurs réguliers	carte 9	carte 5 et carte 6	carte 9	carte 9	carte 6
Concepteurs	carte 9	carte 5	carte 8	carte 5	carte 4 et carte 6

Nous avons tenté de synthétiser les appréciations de chaque groupe lorsque l'on prend en compte l'ensemble des critères. Pour cela, nous avons utilisé les notes évoquées précédemment (tableau 8) : le tableau ci-dessous cumule les notes par carte et par groupe, tous critères confondus. Plus la note est haute, plus la carte a été globalement appréciée par les sujets du groupe.

Tableau 9 :
cumuls des notes par groupe
et par carte, tous critères
confondus.

Témoins		Utilisateurs		Concepteurs	
Carte	Total	Carte	Total	Carte	Total
1	66	3	70	2	118
2	78	1	81	7	119
7	78	4	93	3	120
3	79	2	96	1	121
6	80	8	101	4	133
4	82	7	102	6	141
8	83	5	110	8	150
9	87	6	118	9	151
5	90	9	124	5	158

De ce tableau découlent les classements suivants (tableau 11 ci-dessous).

Tableau 10 :
classement des cartes par
groupes, d'après le cumul
précédent.

Rang	Témoins	Utilisateurs	Concepteurs
1	Carte 5	Carte 9	Carte 5
2	Carte 9	Carte 6	Carte 9
3	Carte 8	Carte 5	Carte 8
4	Carte 4	Carte 7	Carte 6
5	Carte 6	Carte 8	Carte 4
6	Carte 3	Carte 2	Carte 1
7	Carte 7	Carte 4	Carte 3
8	Carte 2	Carte 1	Carte 7
9	Carte 1	Carte 3	Carte 2

Enfin, ce dernier tableau cumule les rangs de chaque carte, obtenus pour les trois classements. Plus le cumul des classements est faible, mieux la carte est classée, c'est-à-dire globalement appréciée par tous les groupes. La colonne de droite illustre l'écart entre les cumuls de classement.

Tableau 11 :
classement des cartes, tous
groupes et tous critères
confondus, par cumul des
rangs du tableau précédent.

Carte	Cumul des classements	Ecart entre les cumuls
9	5	
5	5	0
8	11	6
6	11	0
4	16	5
7	19	3
3	22	3
1	23	1
2	23	0

On peut lire sur ce tableau, synthétisant les résultats de l'enquête cognitive, que trois groupes de cartes se dégagent.

- Les cartes 5 et 9 (cumul égal à 5)
- Les cartes 6 et 8 (cumuls égal à 11)
- Les cartes 1, 2, 3, 4, et 7 (cumul compris entre 16 et 23)

Les parties suivantes vont tenter de comprendre ces résultats de l'enquête cognitive, de cerner à l'aide d'éléments quantifiables l'appréciation qualitative des sujets testés.

b) Analyse statistique des mouvements oculaires

Dans cette partie, nous étudierons le parcours visuel des sujets à partir de quatre indicateurs chiffrés. D'une part, nous prendrons en compte le nombre de fixations et la durée de ces fixations. Nous verrons que ces deux indicateurs sont fortement corrélés. Nous étudierons ensuite le nombre de saccades, qui correspond à la fréquence avec laquelle le regard passe d'une zone d'intérêt de la carte à une autre et

« témoignent donc des déplacements attentionnels et des stratégies d'inspection de la carte lors de sa lecture. »³⁸

Dans toute cette partie, nous nous inspirerons des conclusions d'Aude Bignard³⁹, qui a elle-même beaucoup travaillé à partir des œuvres de Golberg et Kotval, ainsi que des auteurs du rapport *Applying eye-movement tracking for the study of map perception and map design*. Le tableau ci-après tente de synthétiser les traductions qui peuvent être faites à partir des résultats obtenus pour les quatre séries de données évoquées précédemment.

38 BIGNARD A., (2008), « Cartographie du risque d'inondation : perception et aide à la décision en aménagement », mémoire du Projet de Fin d'Études, sous la direction de K. Serrhini, Département Aménagement, École Polytechnique Universitaire de Tours, 139 pages.

³⁹ Ibid.

Tableau 12
Tableau de synthèse : préférence des
cartes en fonction du type de
destinataires
Source : PFE 2008/2009

Phénomène observé	Signification générale	Sens de variation	Traduction pour chacun des groupes
Nombre de fixations	Lié au degré d'efforts visuels et cognitifs. Met en exergue les obstacles en termes de représentations symboliques et de disposition. Augmente avec l'intensité de l'exploration visuelle.	Témoins	Elevé : difficultés de compréhension
		Utilisateurs	Idem
		Concepteurs	Elevé : approfondissement de la lecture
Durée des fixations	Correspond à la durée que le sujet a consacrée pour visualiser les différentes zones de l'image, donc à ce qui a le plus retenu l'attention. Permet de comparer la complexité des cartes visionnées. Une fixation longue peut signifier : <ul style="list-style-type: none"> - Un processus cognitif long pour interpréter l'information - Un manque d'objet significatif à observer - Une difficulté de l'œil à comprendre l'information 	Témoins	Elevée : difficultés de compréhension
		Utilisateurs	Idem
		Concepteurs	Approfondissement dans la compréhension de l'information fixée.
Nombre de saccades	Indique le nombre de mouvements oculaires effectués pour passer d'une zone d'attention à une autre. Beaucoup de saccades indique un faible degré d'efficacité de la recherche et de la disposition.	Témoins	Elevé : faible degré d'efficacité de lecture, donc une mauvaise organisation
		Utilisateurs	Idem
		Concepteurs	Idem
Amplitude des saccades	Traduit la distance angulaire entre les zones fixées. Une valeur élevée peut indiquer trop de complexité dans la recherche, ou une dispersion de l'information.	Témoins	Elevée : faible degré d'efficacité de lecture, donc une mauvaise organisation
		Utilisateurs	Idem
		Concepteurs	Idem

Figure 21 :
Nombre moyen de fixations par carte
Source : PFE 2008/2009

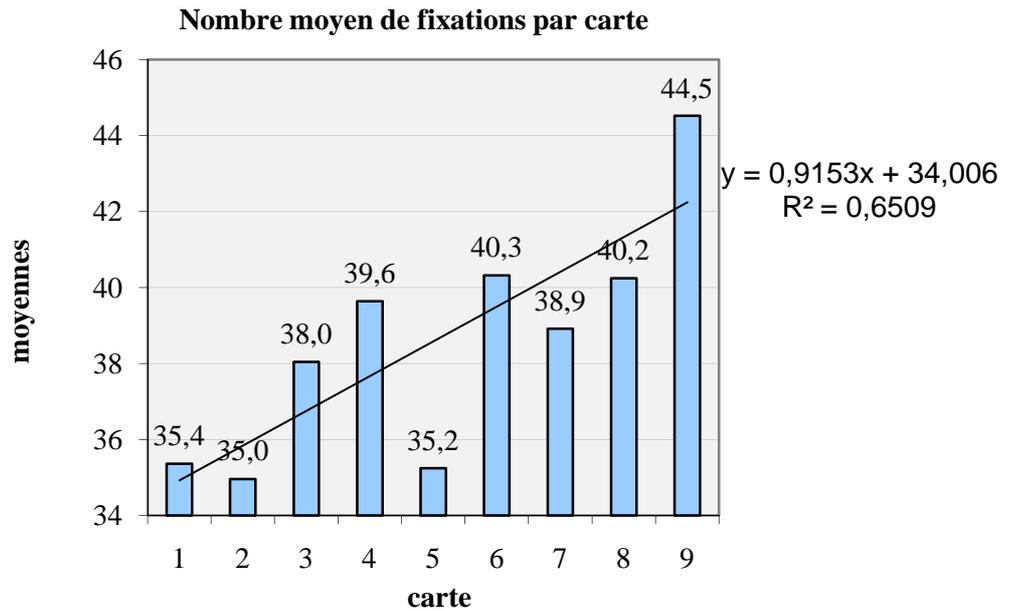
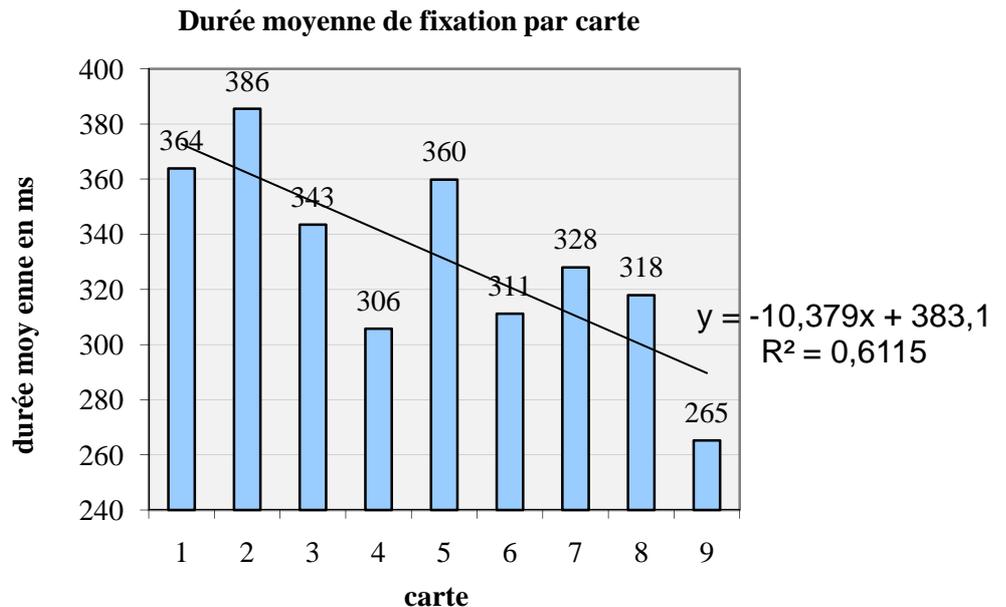


Figure 22 :
Durée moyenne des fixations, par carte
Source : PFE 2008/2009



On constate que plus le nombre de fixations est élevé, plus leurs durées sont courtes (courbes de régression linéaire). Ceci semble s'expliquer logiquement, puisque le temps d'enregistrement reste fixe (si on regarde beaucoup de points différents, chaque temps d'observation sera court, alors qu'on pourra s'attarder plus longtemps si l'on observe moins de points).

On peut, après analyse de ces deux graphes, distinguer 3 groupes de cartes:

Cartes 1, 2, et 5 : Ces cartes présentent un très faible nombre de fixations, tandis que la durée de ces fixations est longue. Dans le cas des cartes 1 et 2, la légende est longue à

lire et écrite en petit. On peut donc supposer que les personnes ont des difficultés à la décrypter, ce qui entraîne une fixation plus longue sur les zones qu'ils tentent de lire. Concernant la carte 5, la légende ne comporte que très peu d'éléments. Il est donc possible de s'attarder plus longtemps sur chacun de ses éléments. De plus, le fond inhabituel et relativement complexe, ainsi que la place inhabituelle également de la légende, qui empiète partiellement sur la carte, peuvent être des explications potentielles à des difficultés de lecture entraînant des fixations plus longues.

Cartes 3, 4, 6, 7, et 8 : Il s'agit là de cartes « moyennes », entraînant des nombres et durées de fixations relativement proches les unes des autres. On peut cependant distinguer les cartes 4 et 6, dont les résultats se rapprochent sensiblement de ceux de la carte suivante.

Carte 9 : Les sujets montrent ici un grand nombre de fixations, de courtes durées. Cette carte, à la légende simplifiée, a donc été parcourue de façon plus complète, sans sembler présenter d'obstacle à une lecture rapide.

Etude des saccades, par carte

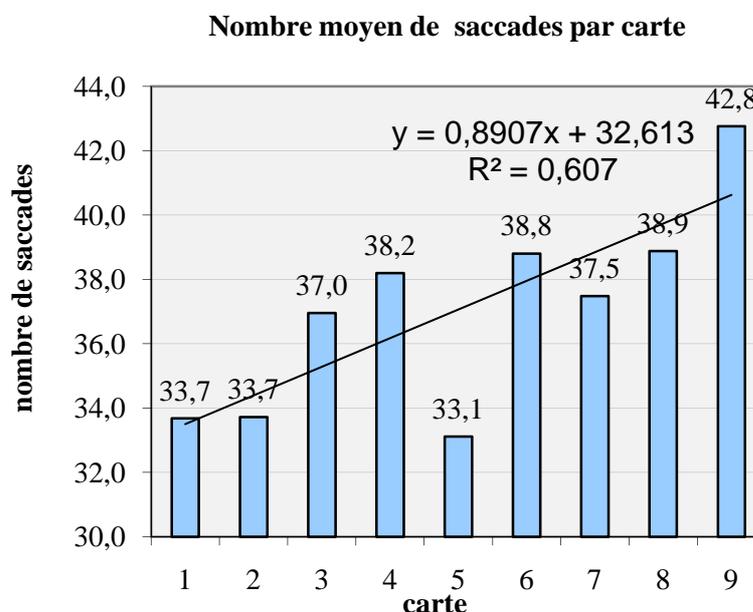
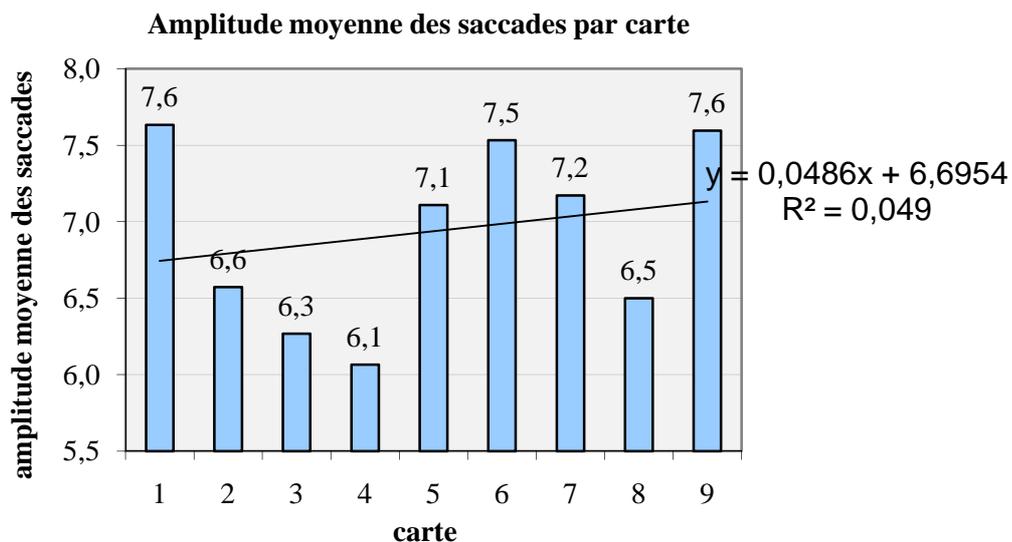


Figure 23 :
Nombre moyen de
saccades, par carte
Source : PFE 2008/2009

Figure 24 :
Amplitude moyenne
des fixations, par carte
Source : PFE 2008/2009



On ne constate pas de lien direct entre le nombre moyen de saccades et l'amplitude de ces dernières. Nous étudierons donc successivement ces deux indicateurs.

L'analyse du nombre de saccades permet de distinguer 3 groupes, qui sont les mêmes que concernant l'étude des fixations :

Cartes 1, 2, et 5 : Ces cartes ont entraîné un faible nombre de saccades. On peut supposer que les personnes n'ont donc que peu parcouru la carte, et se sont concentrés sur des zones fixes. Il est probable qu'il s'agisse entre autre des légendes difficilement lisibles des cartes 1 et 2. En ce qui concerne la carte 5, les informations principales sont groupées au centre de la carte et sont peu éloignées de la légende, cette dernière étant elle même relativement restreinte. La proximité de l'ensemble de ces éléments participe donc à la réduction du nombre de saccades.

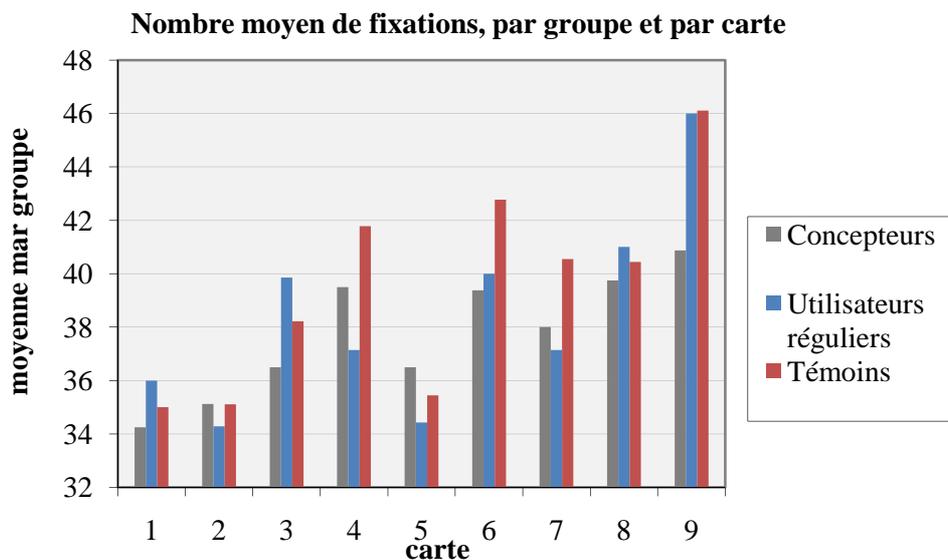
Cartes 3, 4, 6, 7, et 8 : Le nombre de saccades moyen de ces cartes est proche. Il semble donc s'agir là de cartes intermédiaires en termes de difficultés de lecture, pour lesquelles les lecteurs ont choisi un compromis entre tout parcourir (donc réaliser beaucoup de saccades et des fixations courtes) et approfondir la lecture (et donc réaliser peu de saccades et des fixations plus longues). On pourrait aussi voir là une certaine accoutumance au temps d'observation relativement court puisque limité à 15 secondes.

Carte 9 : Le nombre de saccades concernant cette carte est particulièrement élevé. On peut émettre l'hypothèse que, la légende étant assez simple, elle permet de prendre le temps de faire de nombreux allers-retours carte-légende afin de bien assimiler le contenu de la carte.

L'analyse de l'amplitude moyenne des saccades fait ressortir deux groupes : les cartes 2, 3, 4, et 8 d'une part, et les cartes 1, 5, 6, 7, et 9 d'autre part. Cependant, aux vues de toutes ces cartes et de leurs caractéristiques très diverses même au sein de ces deux groupes, il semble difficile d'extraire des conclusions quand à l'explication de ces amplitudes.

Analyse des fixations, par carte et par groupe

Figure 25 :
Nombre moyen de fixations,
par groupe et par carte
Source : PFE 2008/2009

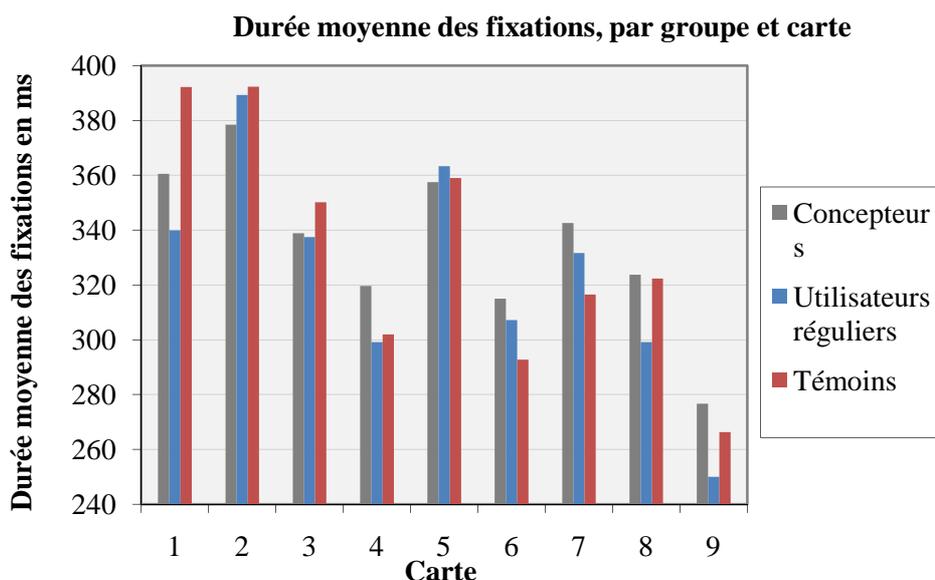


L'analyse du nombre moyen de fixations par groupe et par carte montre que, pour une même carte, les nombres moyens de fixations sont tous relativement proches d'un groupe à l'autre. Cependant, on peut distinguer :

Les cartes 4, 6, et 7 : Pour ces 3 cartes, le groupe « témoins » a réalisé un plus grand nombre de fixations.

Pour la carte 9, le groupe des concepteurs a réalisé un nombre beaucoup plus faible de fixations. Cette carte, à la légende simplifiée, a donc probablement été très rapidement assimilée par ce groupe, qui prend le temps d'en mémoriser les données à travers des fixations plus longues.

Figure 26 :
Durée moyenne des fixations,
par groupe et carte
Source : PFE 2008/2009



L'Analyse de la durée moyenne des fixations, par groupe et par carte, montre que les différences entre les groupes sont faibles. Cependant, on peut noter que les personnes

« témoins » se sont attardés plus longtemps sur les fixations de la carte 1, marquant certainement un besoin de lecture supérieur à celui des autres groupes.

Le groupe « concepteur » montre globalement un nombre de fixations plus faible et des fixations plus longues, marque d'une lecture plus approfondie de la carte.

Analyse des saccades, par carte et par groupe

Figure 27 :
Nombre moyen de saccades,
par carte et groupe
Source : PFE 2008/2009

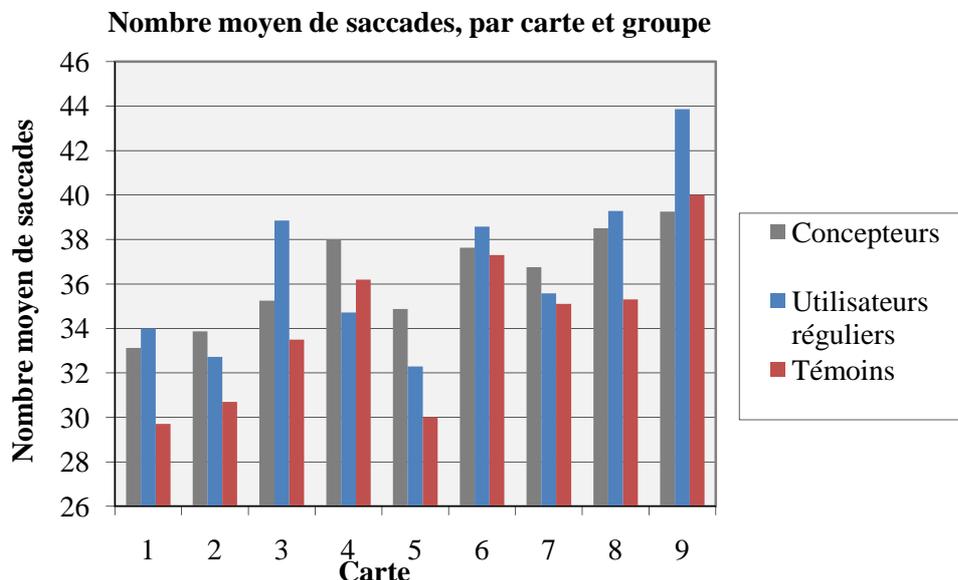
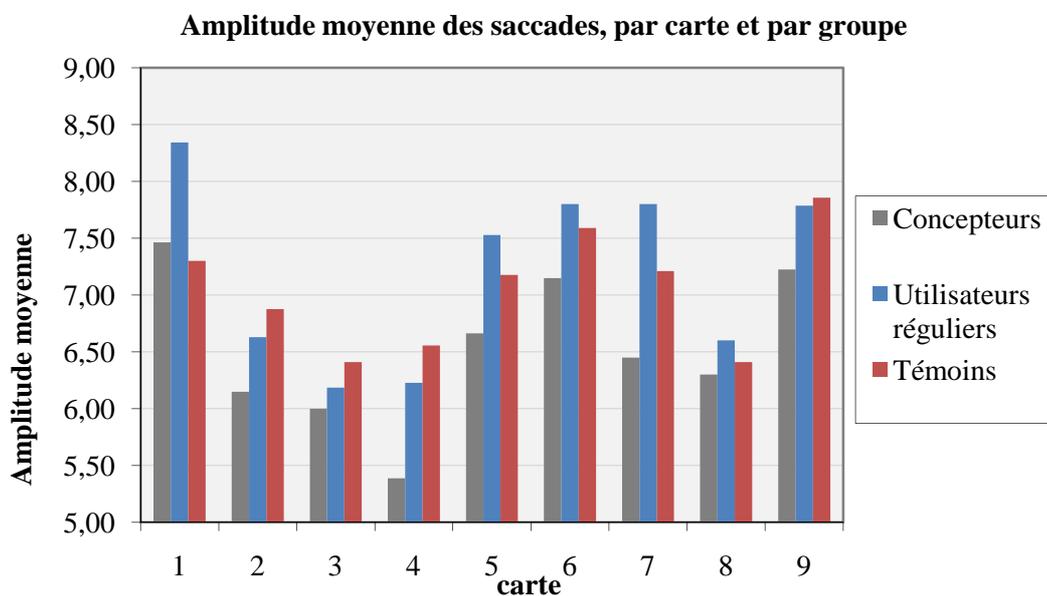


Figure 28 :
Amplitude moyenne des
saccades, par carte et groupe
Source : PFE 2008/2009



Peu de tendances marquantes apparaissent sur ces graphiques.

On peut malgré tout constater que le nombre moyen de saccades du groupe « témoins » est légèrement inférieur à celui des autres groupes, laissant deviner une lecture plus partielle de la superficie des cartes.

Par ailleurs, le groupe « concepteur » présente un nombre de saccades supérieur aux autres pour les cartes 4 et 5. Ces cartes ont en commun une légende avec peu de figurés,

rapidement comprise par ce groupe, qui a ensuite « le temps » d'aller explorer le reste de la carte.

Enfin, on peut noter que l'amplitude moyenne des saccades du groupe des concepteurs reste fréquemment inférieure à celles des autres groupes, illustrant une meilleure connaissance de l'organisation des cartes et moins de dispersion dans la lecture.

Suite aux résultats de cette analyse statistique, laissant apparaître une lecture plus approfondie de la part des « concepteurs » et des difficultés de lecture de certaines cartes pour celui des « témoins », nous allons nous attacher à une analyse thématique des cartes, traitant chaque élément individuellement : titre, légende, fond de carte, etc.

Conclusion

Nous avons souhaité mettre en place un traitement original et novateur concernant les résultats de l'enquête cognitive. Cette méthode a donné lieu à la discrétisation de trois classes au sein desquelles les cartes 9 et 5 apparaissent comme étant les plus appréciées, suivies des cartes 6 et 8. Enfin les cartes 1, 2 et 3, à l'échelle nationale, ont fait l'objet d'une critique concernant leur sémiologie et leur pertinence.

Parallèlement à cette analyse, nous avons exploité les résultats statistiques issus de l'expérimentation vidéo-oculométrique. La encore, il est possible de distinguer trois groupes de carte :

- Carte 9
- Cartes 1, 2 et 5
- Cartes 3, 4, 6, 7 et 8

En croisant les deux classifications, il apparaît que la carte 9 est particulièrement efficace en termes de lecture rapide quelque soit le groupe concerné. La carte 5 présente des caractéristiques statistiques différentes mais est toutefois satisfaisante. Les cartes 6 et 8 sont en position intermédiaire et ce pour les deux types approches. Enfin, les cartes 1, 2 et 3 sont considérées comme inadaptées à une lecture rapide sur écran.

Si certains résultats sont donc comparables, on observe pour quelques cartes un décalage dans leurs deux classifications (enquête et expérimentation), certainement en partie du aux difficultés de traduire en termes de perception l'analyse des mouvements oculaires. Pour affiner ces résultats, nous verrons plus en détail les parcours visuels des sujets à travers des analyses spatiale, dynamique et zonale.

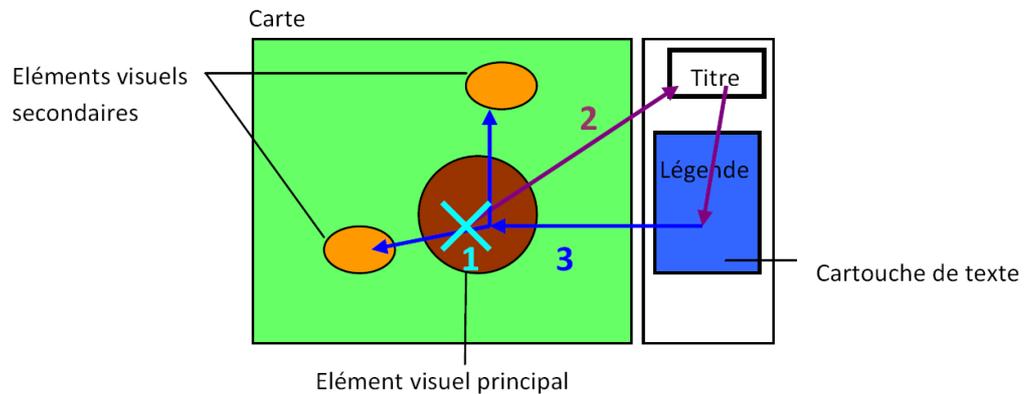
2. Analyse des mouvements oculaires : quels sont les stratégies visuelles des sujets?

Nous considérons, dans cette partie, les stratégies visuelles comme les manières dont un observateur déploie les différents mouvements oculaires possibles lors de l'exploitation d'une image. Existe-t-il une stratégie visuelle unique et applicable à l'ensemble des cartes de notre échantillon ? Pour se faire, nous avons dans un premier temps regardé de manière globale les résultats de tout l'échantillon et dégagé des irrégularités ou des éléments répétitifs. Puis il sera intéressant de prendre appui sur des cas particuliers pour montrer les disparités qu'il existe entre les groupes (témoin, utilisateur régulier, concepteur).

a) Introduction : Quels éléments sont les plus regardés ?

Grâce à l'étude dynamique, il est possible de compiler les stratégies visuelles des 25 personnes testées. La synthèse de cette analyse est globalement conforme aux résultats issus de l'étude Era-Net Crue 1.

Figure 29 :
Schéma de synthèse des
parcours visuels issu de l'étude
Era-Net CRUE 1.



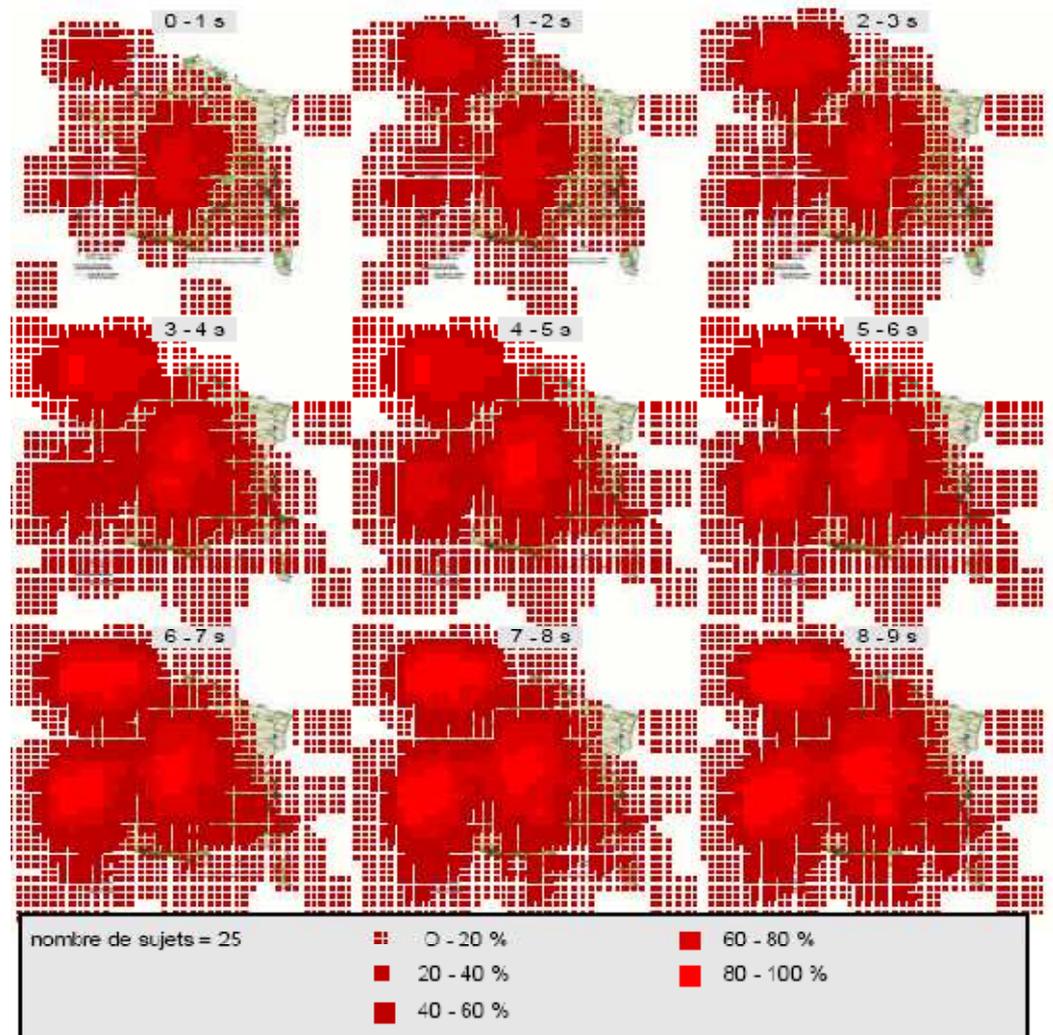
En effet, pour une grande majorité de personnes et sur quasiment l'ensemble des cartes, le regard parcourt les deux principaux éléments à savoir la zone graphique et la zone de texte, sans omettre l'un d'eux. Si l'on prend pour exemple la carte 2, dès la troisième seconde, 80% des sujets ont regardés les deux éléments dans un ordre bien précis :

- Le regard démarre au centre de la carte (Ceci apparaît comme inéluctable dans ce genre d'expérimentation. En effet, étant donnée la position du sujet (menton posé sur la mentonnière) le regard se fixe quasi automatiquement au centre de la carte.
- Cependant, l'œil, très rapidement, se dirige en haut du cartouche de texte et lit ensuite le titre (pour peu qu'il soit placé en haut).
- La légende est le troisième élément observé et sur laquelle le regard s'attarde.
- Enfin, le regard retourne sur la carte où il se focalise sur

« l'élément visuel principal pour, ensuite se porter sur les 2 éléments visuels secondaires »⁴⁰.

40 S. FUCHS, W. DORNER, K. SPACHINGER, K. SERRHINI avec la collaboration de J. ROCHMANN et A. BIGNARD, « Era-Net CRUE, Document de synthèse, Development of Flood Risk in Mountain Catchments and Related Perception – RISKATCH », 10 pages.

Figure 30 : Analyse dynamique de la carte 2. On distingue bien, à travers l'apparition progressive de zones rouges, le parcours visuel centre-titre-légende.



Cependant, pour certaines cartes,

« En fonction de la densité d'information et du niveau de détails de la légende, ce schéma est plus complexe. Le regard réalise en effet une deuxième voire une troisième série de mouvements oculaires »⁴¹.

b) Le titre : premier élément important

Le titre est l'élément cherché en premier par le regard car il possède une fonction particulière : fournir la première information et aider à interpréter la carte. De plus, nous savons notre culture commune basée sur l'apprentissage de la lecture fait que les zones de texte attirent particulièrement l'œil.

41 Ibid

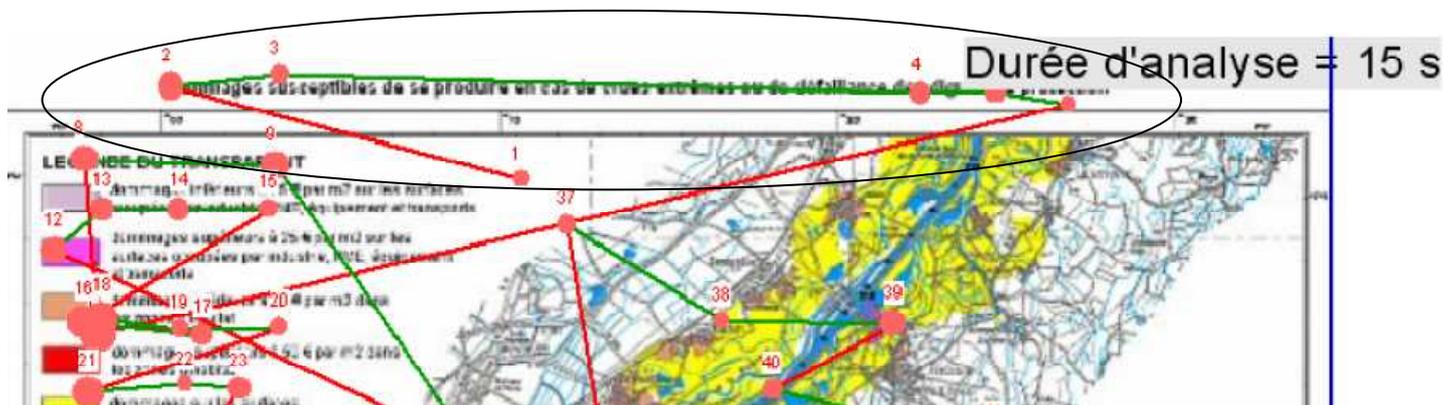


Figure 31 : Analyse spatiale de la carte 4. Exemple de recherche du titre.

Sur cet extrait de la carte 4, vu par une personne du groupe « témoin », ce phénomène de recherche de titre est extrêmement parlant. Si le point de fixation 1 se situe légèrement en dessous du titre, les points 2, 3, 4, 5 et 6 sont liés à la lecture du titre. Après avoir appréhendé ce dernier, le regard s'est déplacé vers la légende.

L'analyse zonale permet de quantifier, infirmer ou approfondir ces propos.

La position et taille du titre :

Carte	1	3	6	8	9
Position du titre	Bas	Haut	Haut à droite	Bas	Haut
Taille du titre	Petite	Petite	Grande	Grande	Grande

Tableau 13 : Position du titre sur les cartes 1, 3, 6, 8, et 9.

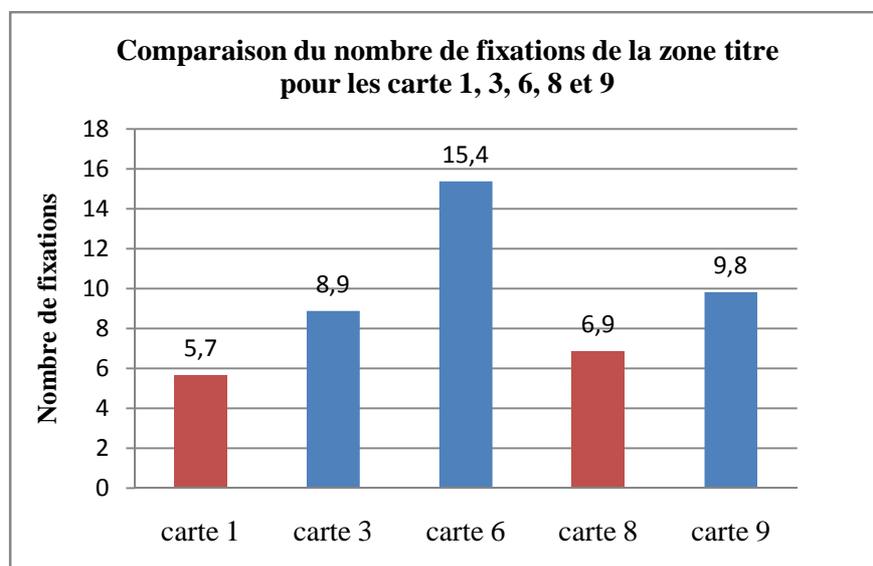


Figure 32 : Nombre de fixations sur la zone titre.

En **rouge** sont représentées les cartes donc le titre figure **en bas** et en **bleu** les cartes dont le titre est **en haut**. En fonction des cartes, entre 11% et 34% des 15 secondes est réservé à la lecture du titre. En ce qui concerne la carte 1, 7 personnes sur 25 n'ont pas regardé le titre. 6 personnes n'ont pas regardé le titre de la carte 8. A l'inverse, l'ensemble de l'échantillon a regardé le titre de la carte 6, même de manière extrêmement rapide. **La position du titre est donc plus que déterminante pour permettre la lisibilité de ce dernier. La position optimum du titre serait donc en haut de la carte.** Cette conclusion est conforme avec les recommandations incluses dans le PFE d'Aude Bignard et les conclusions d'Era-net CRUE 1.

Figure 33 :
Exemple d'analyse spatiale où
le titre n'est pas lu, carte 1.

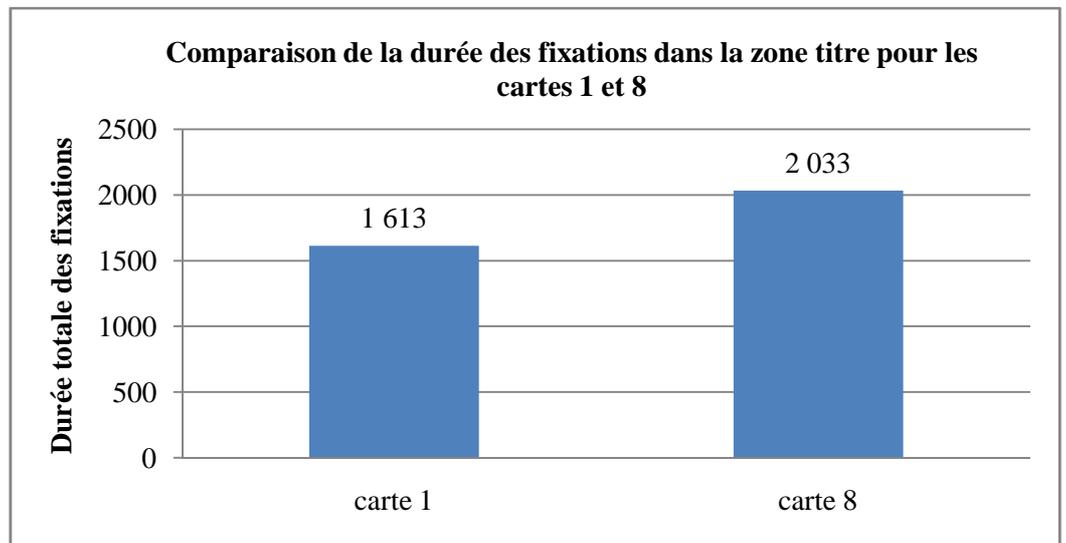


Figure 34 :
Exemple de bonne lecture du
titre, carte 9.



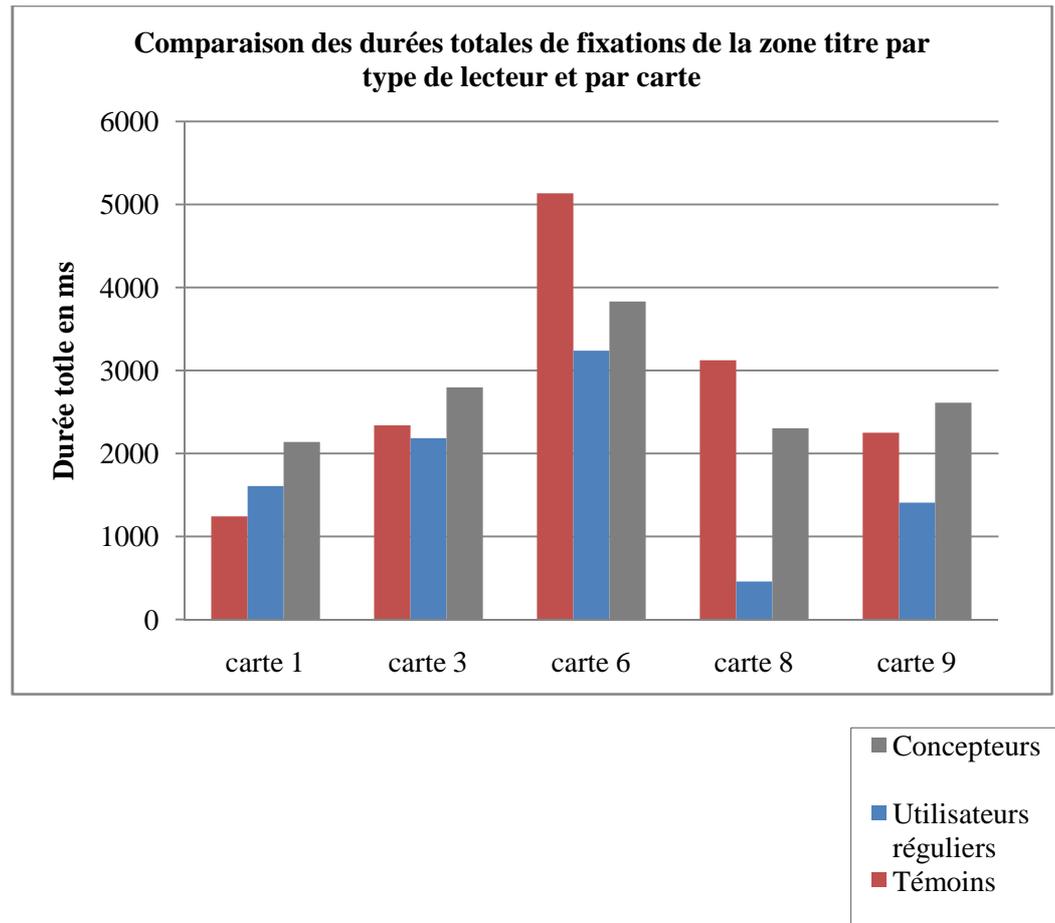
De plus, les titres des cartes 6, 8 et 9 sont écrits en caractères relativement gros, contrairement aux cartes 1 et 3.

Figure 35 :
Durée des fixations dans la
zone titre des cartes 1 et 8.



Si l'on prend les cartes à position égale 1 et 8 (titre en bas) on s'aperçoit que le titre de la carte 8, écrit plus gros, est légèrement plus regardé. Il en est de même entre les cartes 3, 6 et 9, pour lesquelles le titre 3, plus petit que les deux autres, présente un nombre de fixations inférieur.

Figure 36 :
Durée des fixations dans la
zone titre, par groupe.
Source : PFE 2008/2009



Indépendamment de sa position, le titre n'est pas lu de la même manière, en fonction de sa culture des cartes du lecteur. On s'aperçoit en effet que les « concepteurs » ont tendance à l'observer plus longtemps que les autres catégories.

c) La légende : entre position et complexité

Le deuxième élément regardé lors des mouvements oculaires se trouve être la légende. Celle-ci est fondamentale car elle permet la compréhension de la symbolique graphique de la carte.

« Elle constitue une clé de lecture de l'information transmise »⁴²

42 BIGNARD A., (2008), « Cartographie du risque d'inondation : perception et aide à la décision en aménagement », mémoire du Projet de Fin d'Études, sous la direction de K. Serrhini, Département Aménagement, École Polytechnique Universitaire de Tours, 139 pages.

Figure 37 :
Analyse spatiale d'une lecture
de légende, carte 7.

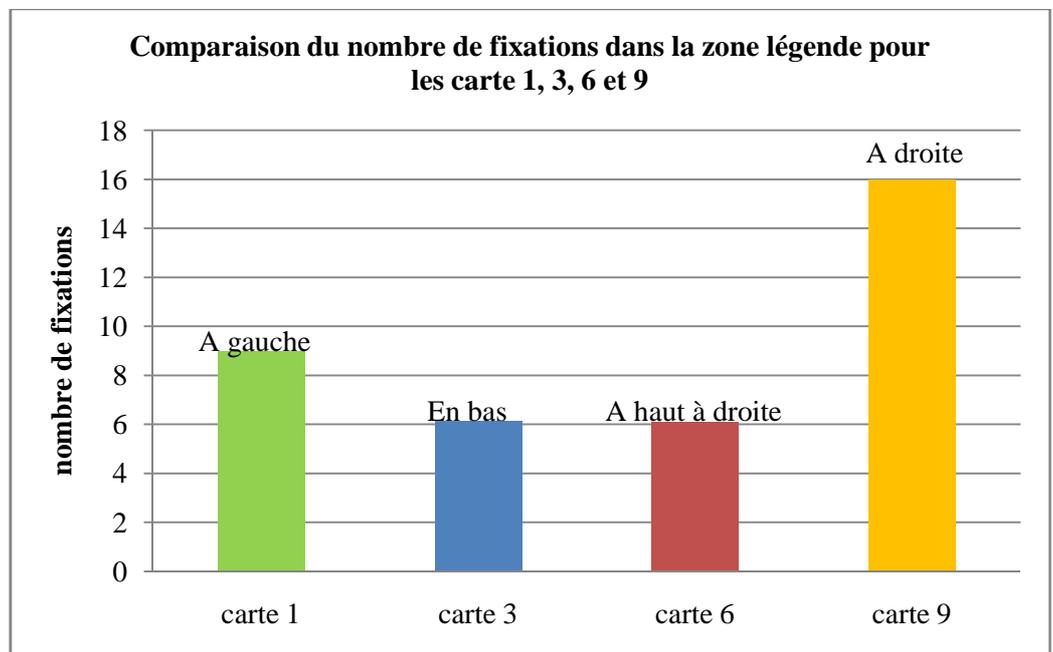


Sur cet extrait de la carte 7, vu par une personne du groupe « témoin », ce phénomène de recherche de légende est particulièrement parlant. Si les points de fixation 2 et 3 se situent au cœur de la carte, les points 4 et 5 sont sur le titre, tandis que les points 6 à 13 sont consacrés à la lecture de la légende.

En fonction des cartes, entre 19 et 46% des 15 secondes totales ont été réservées à l'observation de la légende. Après avoir appréhendé cette dernière, le regard est retourné vers le centre de la zone graphique. Là encore, l'analyse spatiale par zones d'intérêt va permettre de nuancer ce constat.

La position de la légende :

Figure 38 :
Nombre de fixations dans
la zone de légende, cartes 1,
3, 6, et 9.



En vert est représentée la carte dont la légende figure à gauche, en bleu la carte dont la légende est en bas, en rouge elle est en haut à droite et enfin en jaune, à droite. On constate que le regard se fixe deux fois plus sur la légende lorsque celle-ci est à droite.

D'autre part, l'ensemble de l'échantillonnage a vu la légende de la carte 1 et de la carte 9. En revanche, 1 et 2 personnes n'ont pas regardé respectivement les légendes des cartes 3 et 6.

Ces deux constatations peuvent confirmer les conclusions d'Aude Bignard selon lesquelles la position de la légende est déterminante pour permettre la lisibilité des figurés de la carte.

Figure 39 :
Exemple de légende située en bas et non lue, carte 8.
Source : PFE 2008/2009

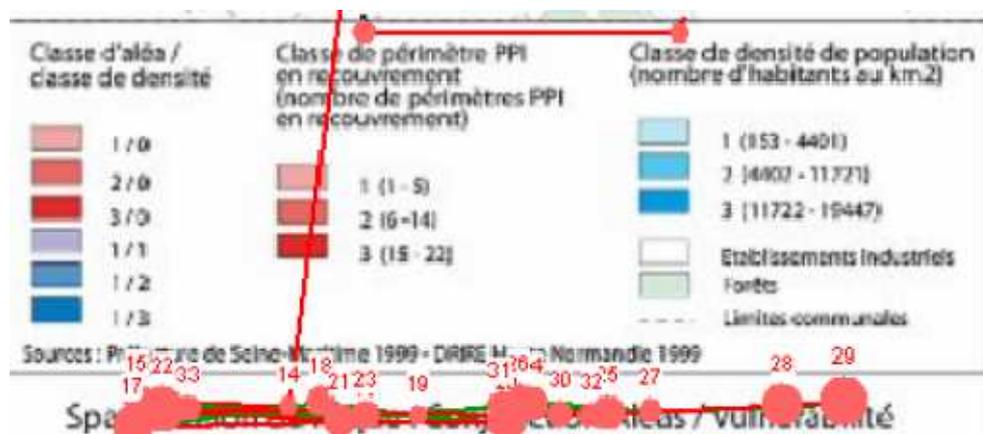


Figure 40 :
Exemple de légende située à droite et lue, carte 9.
Source : PFE 2008/2009



La composition de la légende :

Il est possible de différencier certaines zones, en fonction de la composition de la légende. La carte 7 se prête bien à l'étude des figurés surfaciques. En effet, on y trouve des aplats de couleurs vives, des aplats de couleurs claires, et des textures.

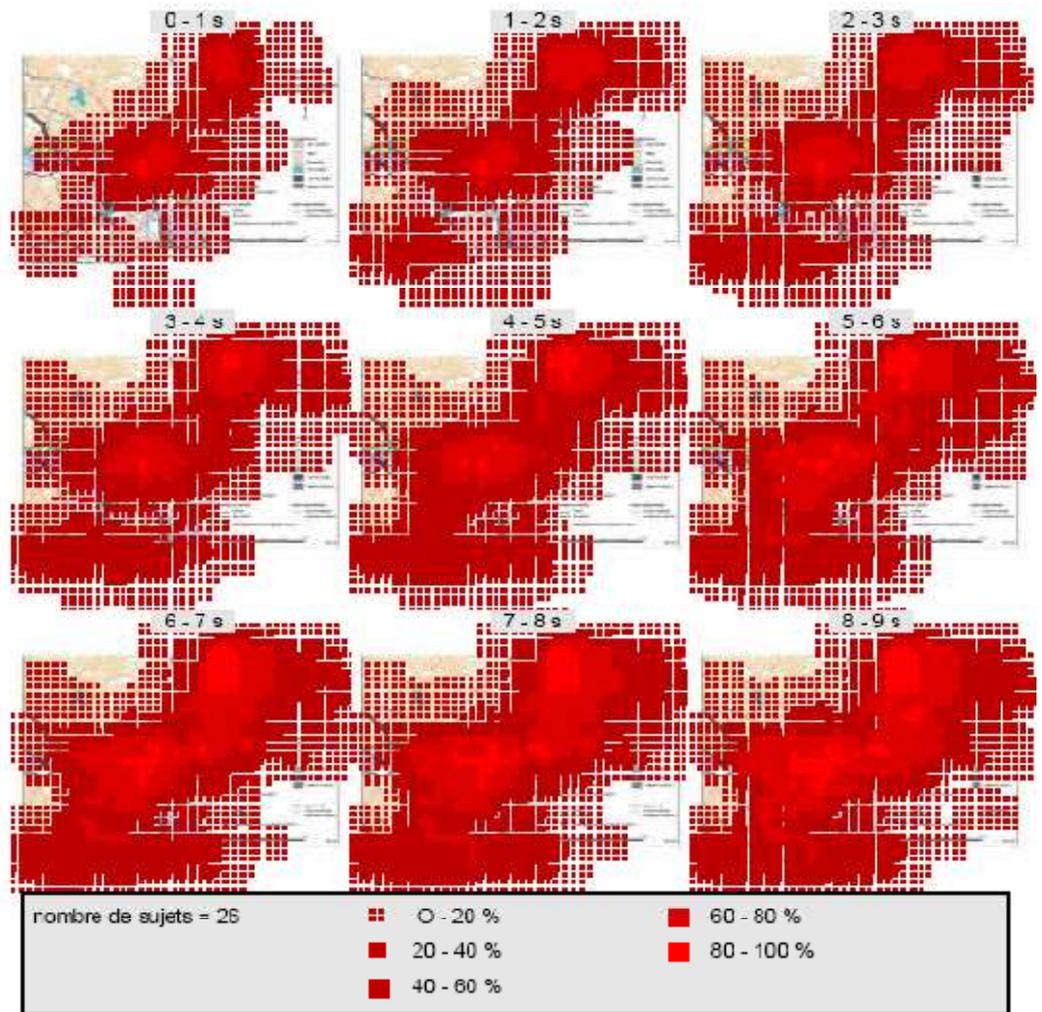


Figure 41 :
Analyse dynamique de la carte
7, différence d'attention portée
aux légendes comprenant des
couleurs vives, claires, ou des
hachures.
Source : PFE 2008/2009

L'analyse dynamique montre que les aplats de couleurs claires sont lus tardivement et peu observés. Même si leur localisation, plus éloignée de la carte, est certainement en partie responsable de ce phénomène, il s'agit d'une illustration de l'attrait des couleurs vives.

D'autre part, afin de quantifier l'attrait des textures par rapport aux aplats de couleurs, on peut étudier quantitativement les fixations des zones 1 et 2 ci-dessous.

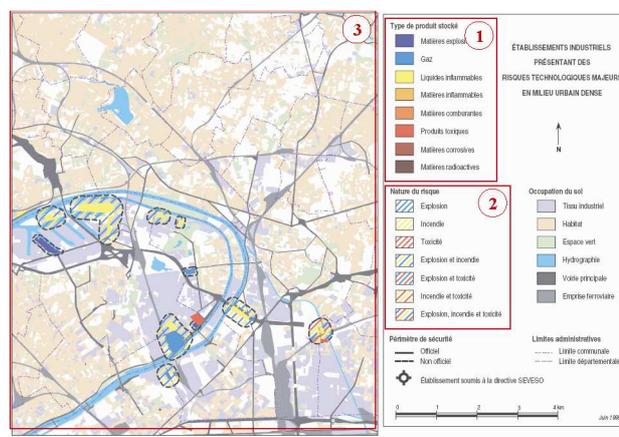


Figure 42 :
Zones d'analyse de la carte 7.
Source : PFE 2008/2009

2. Les établissements industriels présentant des risques technologiques majeurs et leurs périmètres d'isolation dans un tissu urbain dense au 1/75 000 (extraits)

Figure 43 :
 Etude zonale de la carte 7,
 nombre de fixations
 Source : PFE 2008/2009

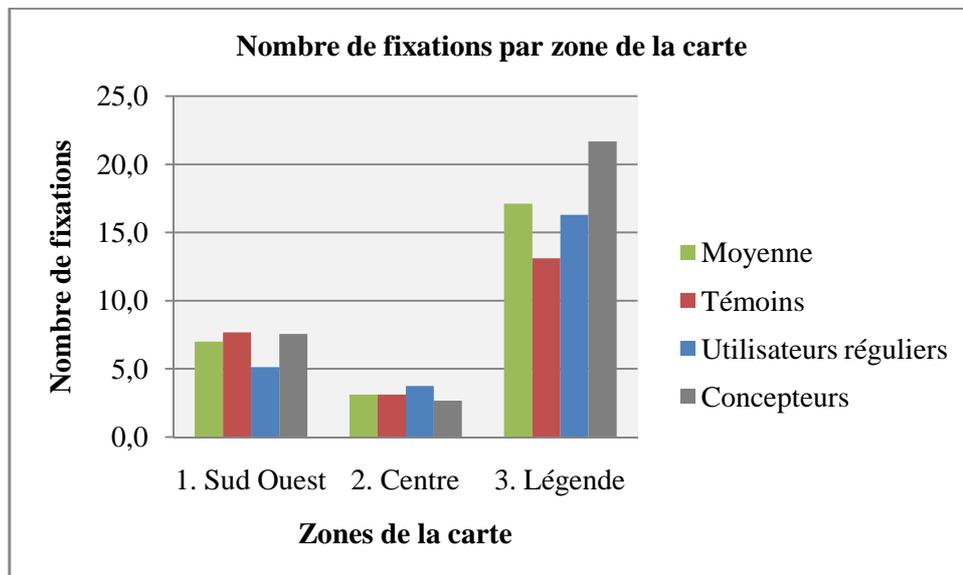
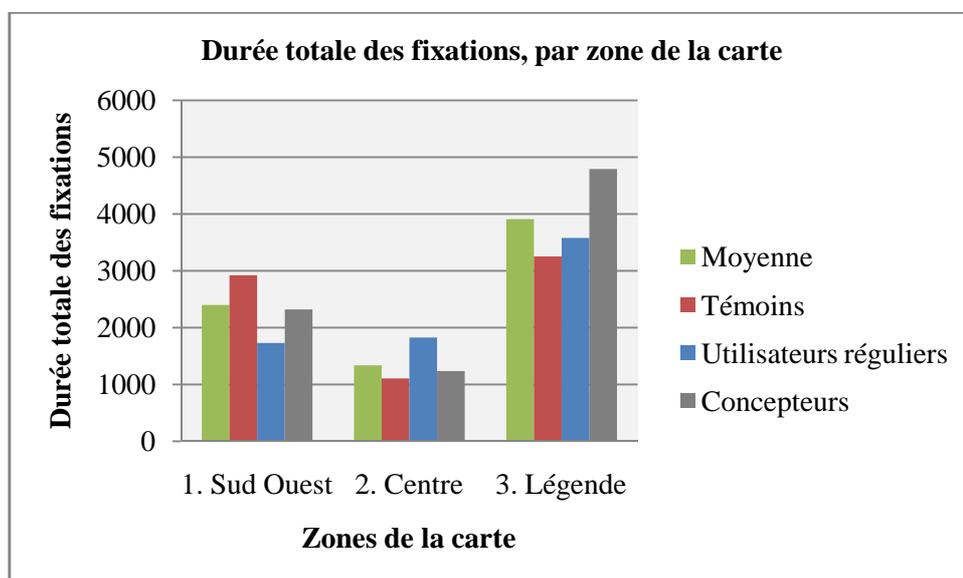


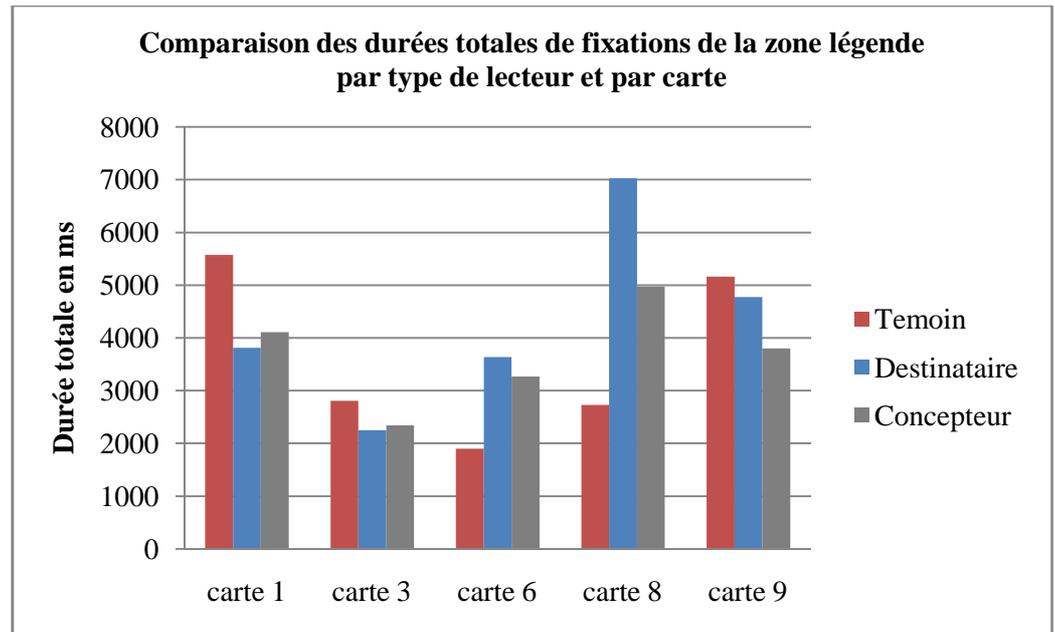
Figure 44 :
 Etude zonale de la carte 7,
 durée totale des fixations.
 Source : PFE 2008/2009



Ces deux graphiques, correspondant respectivement au nombre de fixations, et à leur durée totale, montrent clairement que les aplats de couleurs vives attirent plus le regard que les textures, malgré les couleurs relativement vives de ces dernières. On peut là encore nuancer cette constatation, car les textures sont situées sous les aplats.

Différentes stratégies en fonction du type de destinataire :

Figure 45 :
Analyse zonale de plusieurs
légendes, par groupe.
Source : PFE 2008/2009



Pour trois cartes sur cinq, ce sont les personnes « témoins » qui ont passé le plus de temps sur la légende. Cela est peut être à mettre en lien avec la certaine complexité de la légende qui demande un temps de lecture plus grand pour la comprendre. Prenons l'exemple de la carte 1 qui possède 44 aplats de couleurs, ce qui représente un élément de complexité pour les « témoins ». Cela explique probablement le temps important passé sur la légende comparativement aux autres catégories. A l'inverse, la carte 9 avec des figurés qui respectent les règles de sémiologie semble plus facile d'accès et dès lors les concepteurs, plus habitués, y passe moins de temps.

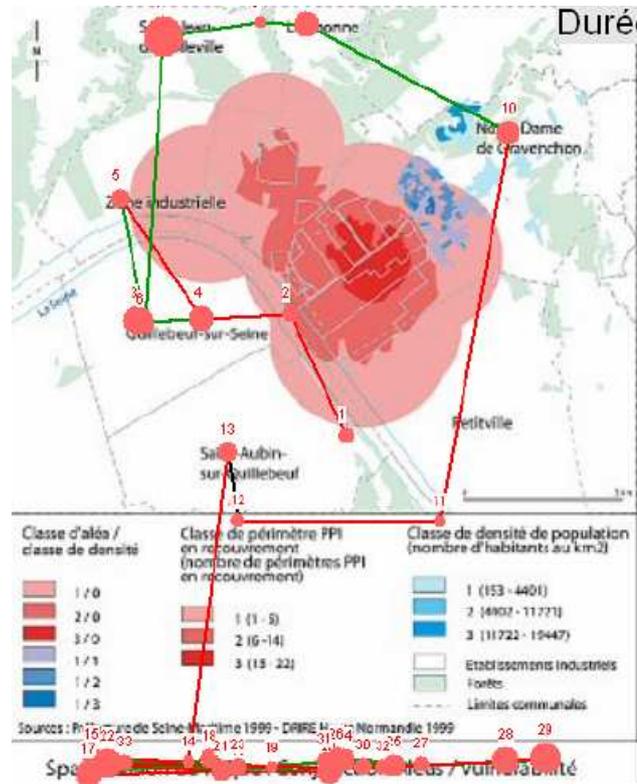
d) Les éléments de la carte

De manière général, c'est l'élément central de la carte qui attire le plus le regard, tout du moins en termes de temps passé sur la zone. En fonction des cartes, entre 31% et 42% du temps est consacré à l'observation de la zone graphique. Ce chiffre diffère considérablement avec les résultats trouvés par Aude Bignard lors de son PFE. Lors de son analyse, c'est près de 66 à 80% du temps qui permettait de visionner les informations graphiques. Il est fort possible que la différence provienne de la méthode employée. En effet, l'une des consignes données (même implicitement) lors de notre expérimentation était : « Après le visionnage de la carte pendant 15s, vous devez écrire sur le questionnaire ce que vous avez retenus de la carte ». Il est alors probable que nos sujets se soient focalisés un peu plus sur le titre et la légende pour répondre à cette question. En effet, il est plus simple de retenir et de retranscrire un élément de texte, plutôt qu'un élément graphique.

Attrance du texte

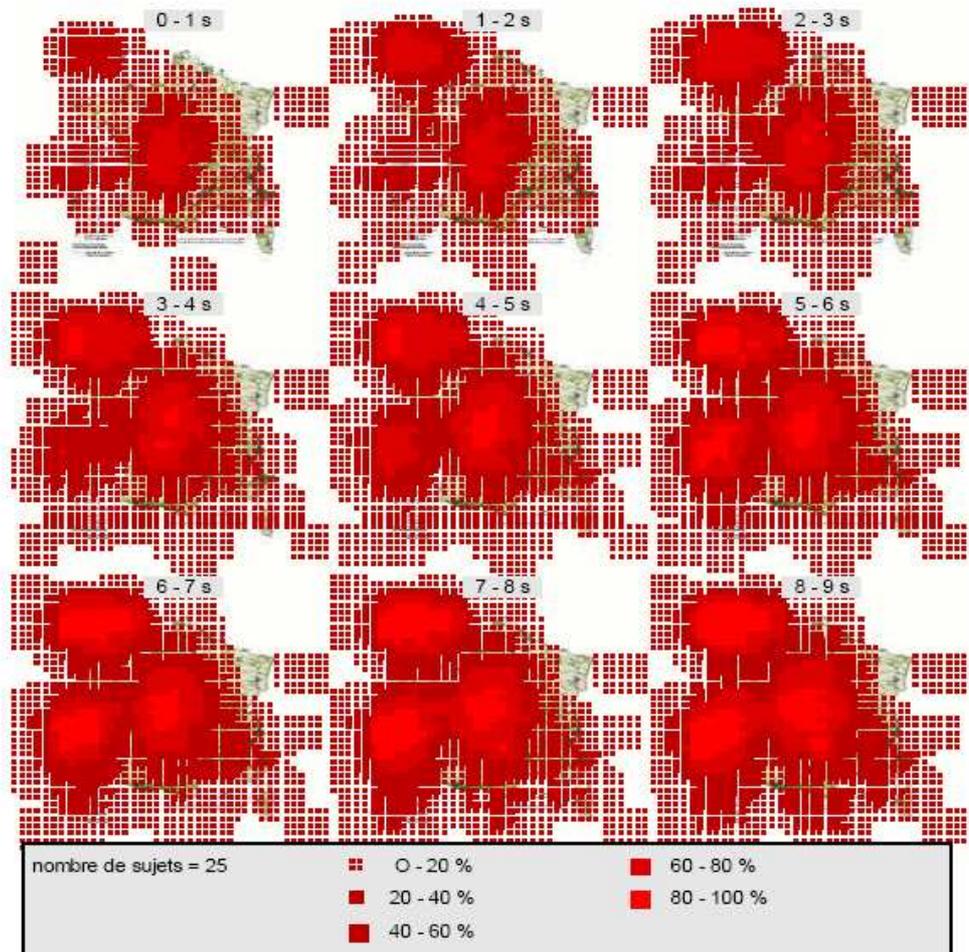
Les zones de textes ont un intérêt particulier dans la cartographie car elles ont un pouvoir d'attraction fort. Sur l'analyse ci dessous, l'un des « témoins » a parcouru la carte uniquement en lisant les textes (noms des villes et titre). Très peu de fixations se sont faites sur les éléments graphiques et pourtant la personne, lors de l'enquête cognitive qui a suivie la lecture de carte, a montré qu'elle avait mémorisé les principaux éléments contenus dans la carte.

Figure 46 :
Exemple d'analyse spatiale de
la carte 8 illustrant l'attractivité
du texte.
Source : PFE 2008/2009



Rôle du positionnement des éléments

Figure 47 :
Analyse spatiale de la carte 2,
illustration de l'influence du
positionnement des éléments
sur leur attractivité.
Source : PFE 2008/2009



Sur la carte 2, il est flagrant aux vues de l'analyse dynamique, que la partie Est de la carte est ignorée par rapport à la partie Ouest. On voit en effet que le regard se porte d'abord sur le centre, puis sur le titre, illustrant là le pouvoir attractif du texte, et enfin sur la légende. Située hors de ces trois zones, on voit que l'Est de la France, et notamment l'Alsace Lorraine, ne sont pas observées.

Afin de quantifier cette différence entre l'attention portée à la partie Est et à la partie Ouest de la carte, nous avons créé les zones suivantes et réalisé une étude statistique zonale.

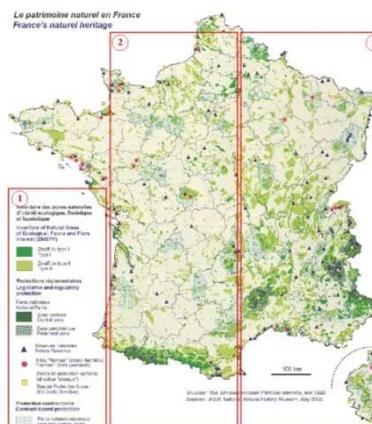


Figure 48 : Zonage de la carte 2
 Zone 1 : légende
 Zone 2 : partie Ouest
 Zone 3 : partie Est
 Source : PFE 2008/2009

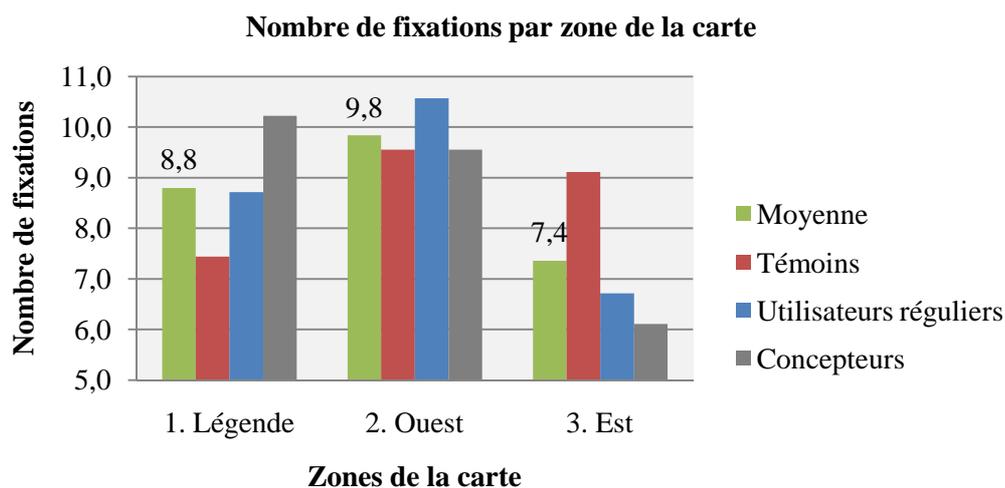


Figure 50 :
 Analyse zonale de la carte 2, par
 groupe (nombre de fixations).
 Source : PFE 2008/2009

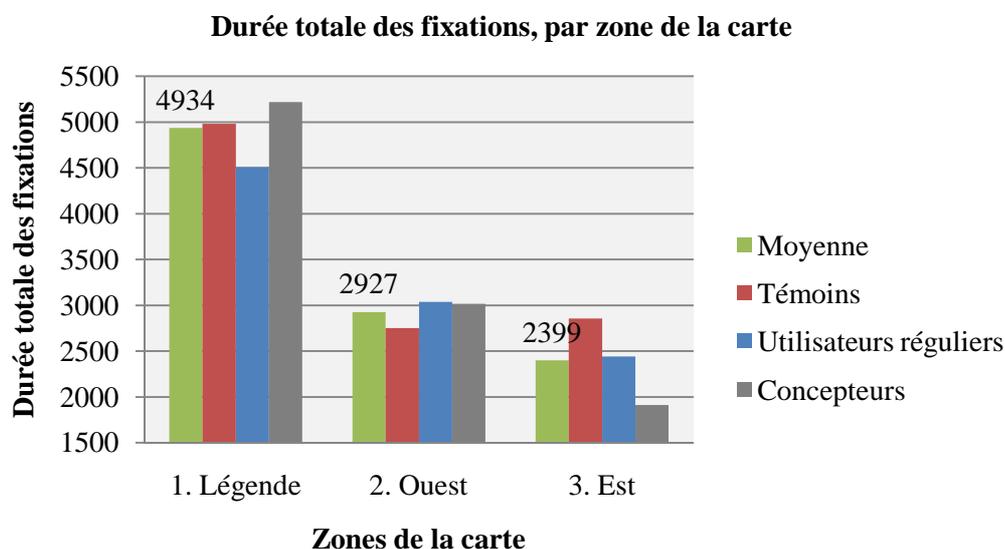


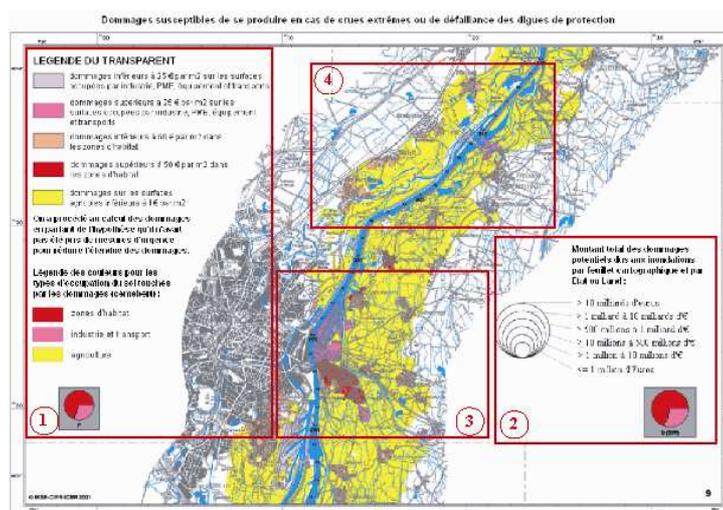
Figure 49 :
 Analyse zonale de la carte 2, par
 groupe (durée de fixations).
 Source : PFE 2008/2009

Il en ressort les éléments suivants :

- La partie Est de la carte présente une durée totale de fixation inférieure à la partie Ouest. Ceci est encore plus marqué en termes de nombre de fixations.
- On remarque d'autre part la différence de type de lecture entre la légende (zone 1) et le reste de la carte. En effet, la légende compte peu de fixations, mais celles-ci sont nettement plus longues que les fixations d'observation de l'image. Ceci conforte le fait qu'une fixation longue traduit un processus cognitif, ici la lecture, rendu de surcroît difficile par la petite taille de la police.
- Enfin, les concepteurs ont accordé beaucoup moins de temps à la partie Est de la carte que les autres groupes, et sont restés au contraire beaucoup plus longtemps sur la légende. Il semblerait donc qu'ils ont privilégié la compréhension de la carte à son parcours « esthétique ».

L'analyse zonale de la carte 4 permet également d'étudier l'impact de l'organisation des éléments de cette dernière. Si la proximité de la légende permet d'améliorer la visibilité de l'élément cartographié comme semble le montrer l'analyse dynamique de la carte 2 alors la zone 3, située entre les deux blocs de légende, devrait attirer nettement plus le regard que la zone 4, située plus au Nord.

Figure 51 :
Zones d'analyse de la carte 4.
Source : PFE 2008/2009



Hors les analyses zonales de la carte 4 montrent que la zone 3 n'est quasiment pas plus regardée que la zone 4. La différence entre le nombre de fixations de ces zones et la durée totale de ces fixations est en effet relativement faible.

Figure 52:
Analyse zonale de la carte 4, par
groupe (nombre de fixations).
Source : PFE 2008/2009

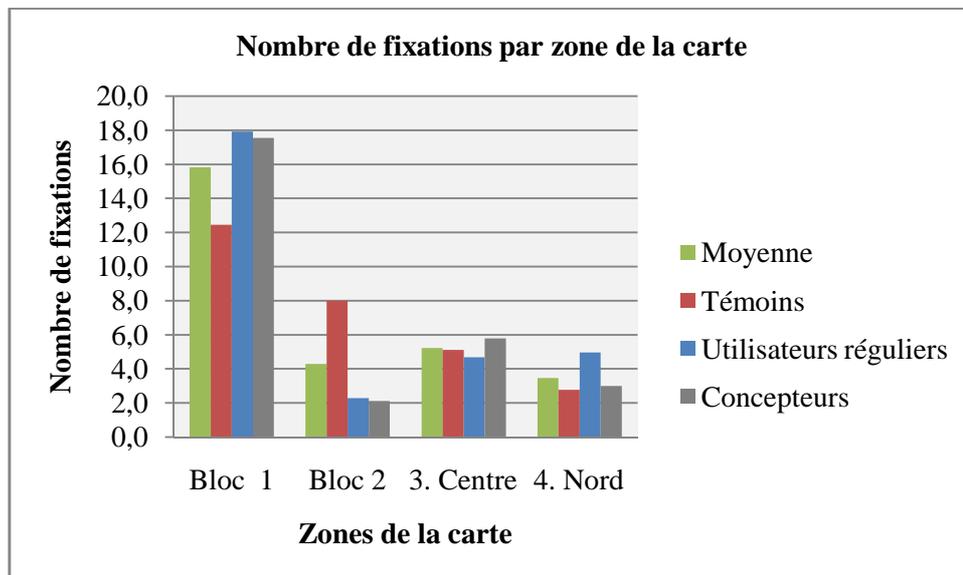
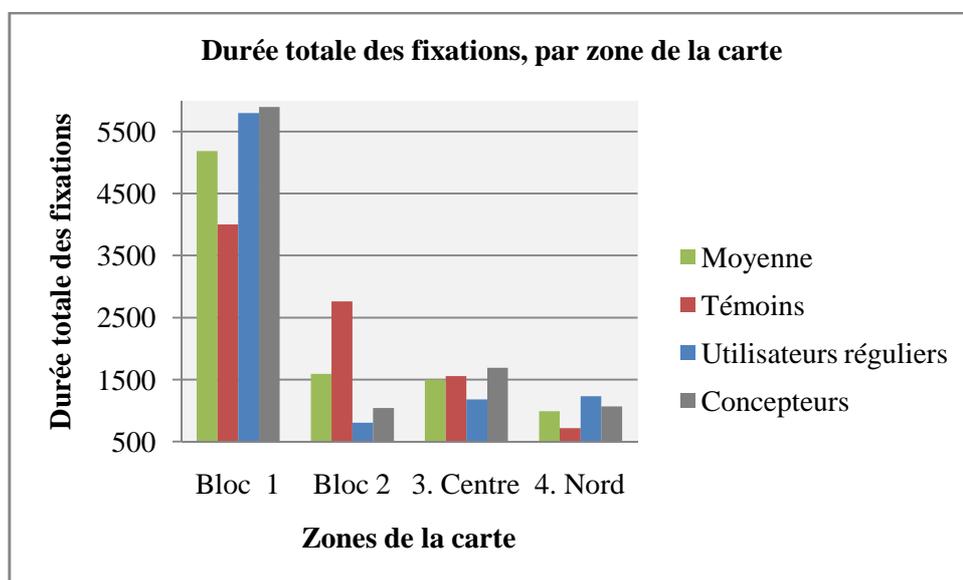


Figure 53:
Analyse zonale de la carte 4, par
groupe (durée totale des fixations).
Source : PFE 2008/2009



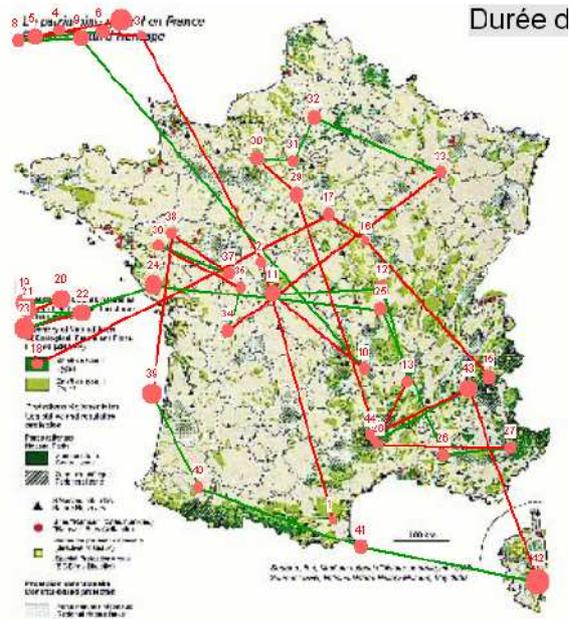
Cette observation peut certainement être imputée à la présence du titre en haut de la carte, qui attire le regard et l'entraîne à survoler la zone 4. Il s'agit aussi très probablement de l'attraction des couleurs vives, dont la localisation suit celle du cours d'eau et entraîne des mouvements oculaires suivant cette diagonale.

Il est donc **délicat d'établir des règles générales concernant l'action des éléments d'une carte les uns par rapport aux autres**. Chaque élément, en fonction de sa couleur et de la quantité de texte qu'il présente, aura son propre pouvoir d'attraction, qui se combinera aux effets des autres éléments. Il faut donc **observer la carte dans son ensemble pour pouvoir juger de l'attractivité des éléments**, et ne pas les analyser deux à deux.

Rôle de la couleur :

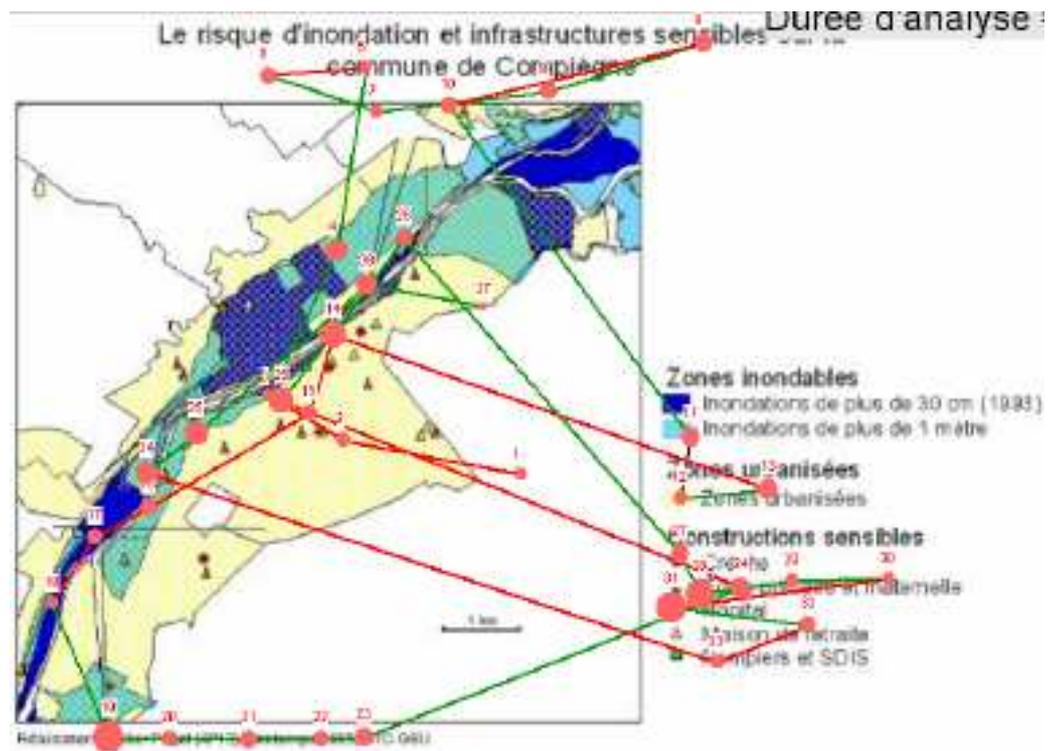
Il ressort par ailleurs de l'analyse spatiale une forte attraction des zones colorées (vert sombre notamment).

Figure 54 :
Cas d'un sujet du groupe des concepteurs.
On voit bien ici que le regard se
prote sur le zones les plus colorées.



Les analyses spatiales de plusieurs cartes montrent que l'œil suit naturellement les axes formés par les couleurs les plus vives. Par exemple sur la carte 9, seize des vingt-cinq personnes présentent un parcours visuel qui longe la diagonale Sud Ouest – Nord Est représentant le tracé de la rivière.

Figure 55 :
Exemple d'analyse spatiale de
la carte 9 illustrant l'attractivité
de la couleur, suivant un axe
diagonal.
Source : PFE 2008/2009

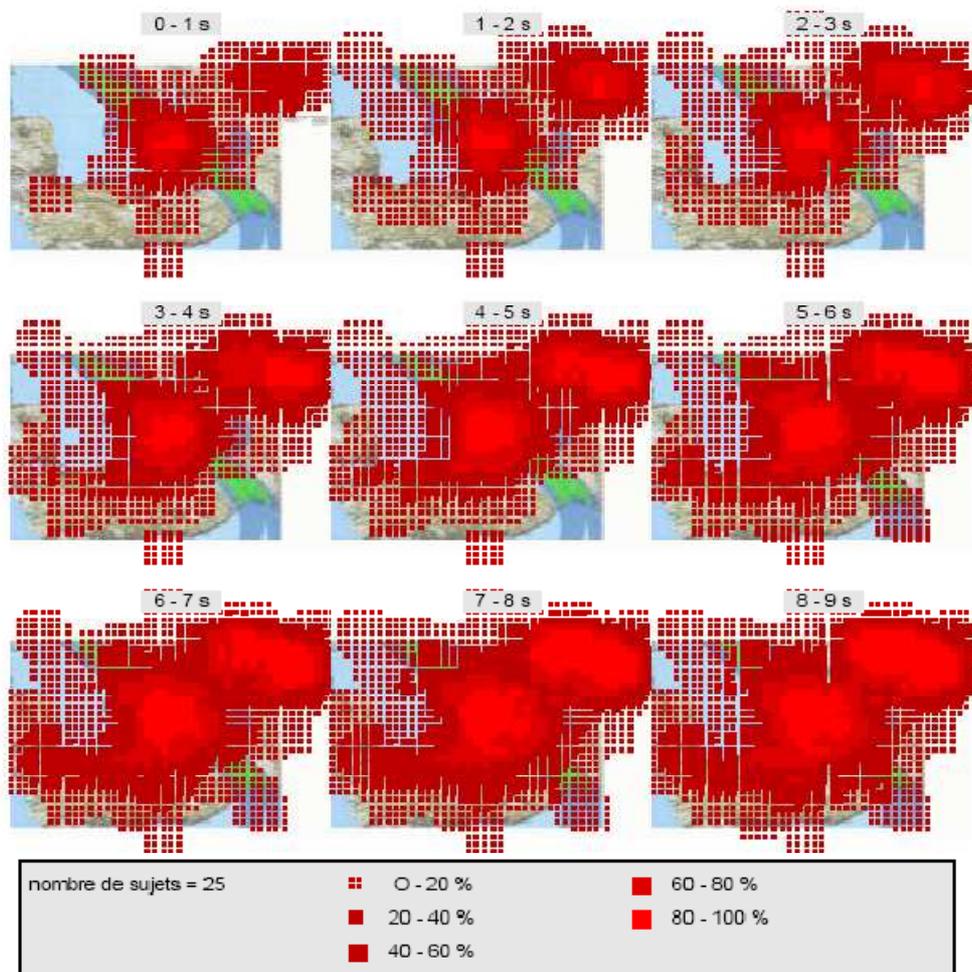


e) Le fond

La carte présente un fond qui diffère des autres. Il est plus riche et présente des couleurs relativement sombres susceptibles d'attirer l'œil, malgré l'absence d'information intéressante vis-à-vis du thème de la carte. Si l'on s'intéresse à l'analyse dynamique de

cette carte, on s'aperçoit qu'en plus des deux zones d'intérêts principaux, à savoir la légende en haut à droite et la partie colorée où figurent les aplats de couleurs, une zone rouge sombre apparait sur la partie Sud-ouest de la carte, alors qu'aucun figuré n'y est présent.

Figure 56 :
Analyse dynamique de la carte 5.
Source : PFE 2008-2009



Si l'on s'intéresse, à travers l'analyse spatiale, aux mouvements oculaires des sujets concernant cette zone, on distingue trois types de comportements, dont le tableau ci-dessous résume trois types de parcours caractéristiques.

Figure 57 :
Trois exemples d'analyse spatiale de la carte 5.
Source : PFE 2008-2009

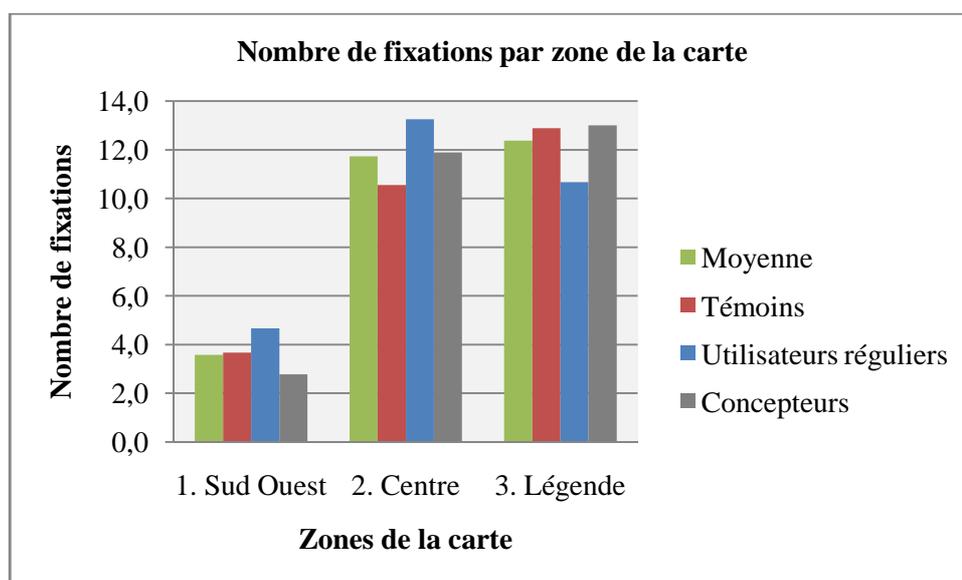
<p>Sujet « témoin » : Etude fouillée de la zone</p>	<p>Sujet « utilisateur régulier » : Parcours rapide</p>	<p>Sujet « concepteur » : Ignorance de la zone</p>

L'étude zonale ci-après va permettre de quantifier cette analyse qualitative. Trois zones ont été tracées : une zone englobant la légende (3), une comprenant le centre de la carte, où sont regroupées les une parties des aplats (2), et une troisième zone (1) où ne figure que le fond de carte.



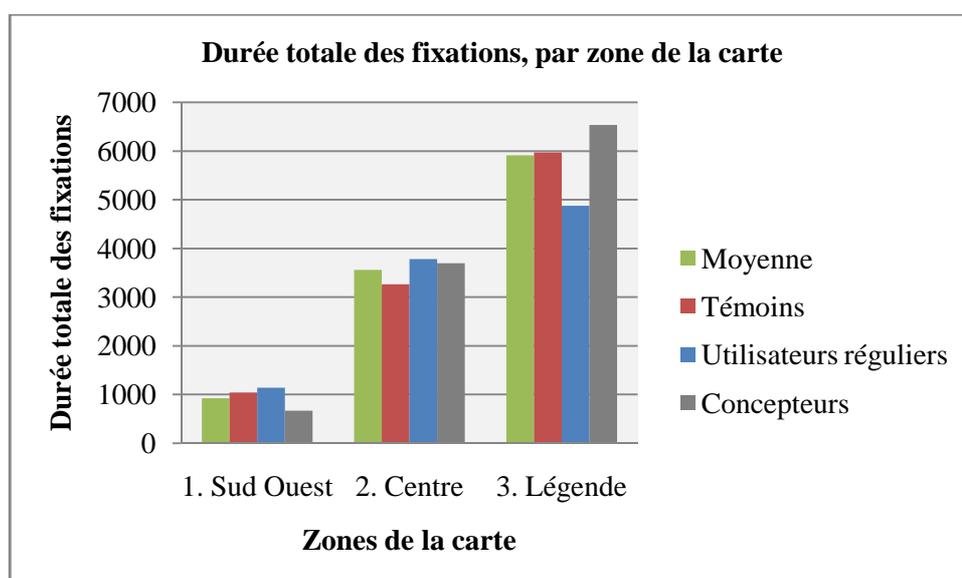
Figure 58 :
Zones d'analyse de la carte 5.
Source : PFE 2008-2009

Figure 59 :
Analyse zonale de la carte 5,
par groupe (nombre de
fixations)
Source : PFE 2008-2009



Pour le groupe des témoins, la zone 1 occupe plus d'un quart des fixations accordées à la carte (4/16, soit 27%). Cette proportion est un peu moindre pour la catégorie des concepteurs, mais reste importante.

Figure 60 :
Analyse zonale de la carte 5,
par groupe (durée totale des
fixations).
Source : PFE 2008-2009



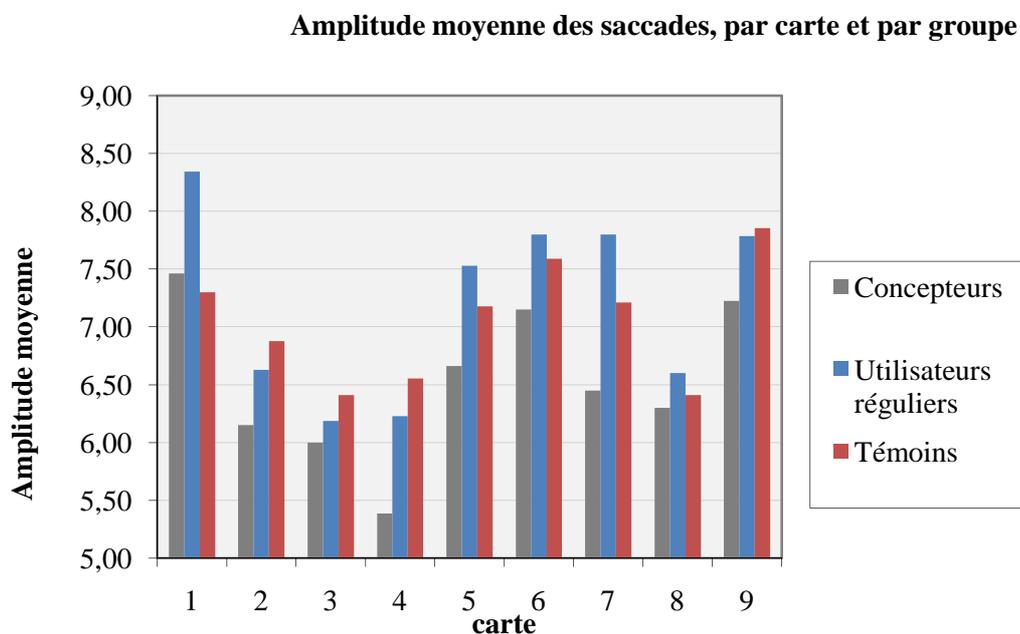
Lorsque l'on s'intéresse à la durée des fixations accordées à cette zone, on constate que les témoins accordent 24% de la durée totale des fixations réalisées sur la zone graphique de la carte (zones 1 et 2), tandis que pour les concepteurs, cette valeur est de 15%.

Tous les sujets sont donc attirés par la zone 1 et y réalisent un nombre conséquent de fixations, compte tenu de l'absence d'information concernant le bruit à cet endroit de la carte. Cependant, les durées totales de fixations des concepteurs sont inférieures aux autres, illustrant certainement le fait qu'ils ont plus rapidement conscience de l'inutilité relative de cette zone.

Il semblerait donc que pour gagner en efficacité, la zone 1 serait à simplifier, ou que son attraction visuelle soit réduite, en jouant sur les contrastes notamment, comme le suggèrent certains travaux d'Elisabeth Chesneau⁴³.

f) Eloignement des éléments

Figure 61 :
Amplitude moyenne des
saccades, par carte et par
groupe.
Source : PFE 2008-2009

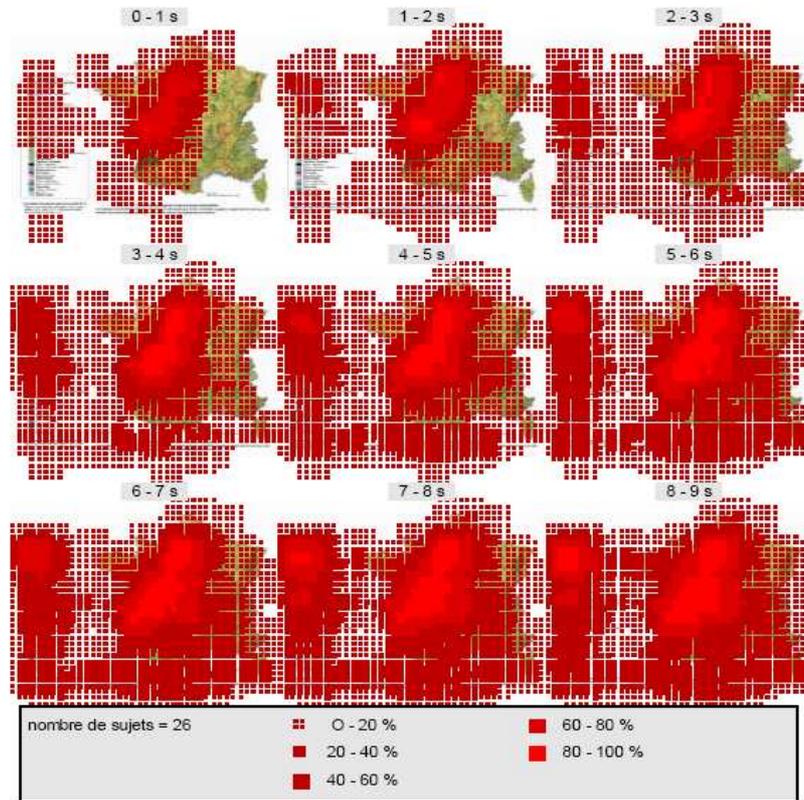


La carte 1 semble générer des amplitudes de saccades plus grandes que la carte 4, quelque soit le groupe le groupe observé.

Pour tenter d'expliquer ce phénomène, on peut observer les résultats issus de l'analyse dynamique pour ces mêmes cartes.

43 E. CHESNEAU, (2007), « Etude des contrastes de couleur pour améliorer la lisibilité des cartes – application aux cartes de risque », consultable sur le site : www.documents.strabisme.net/page1201/page1201.html, 14 pages.

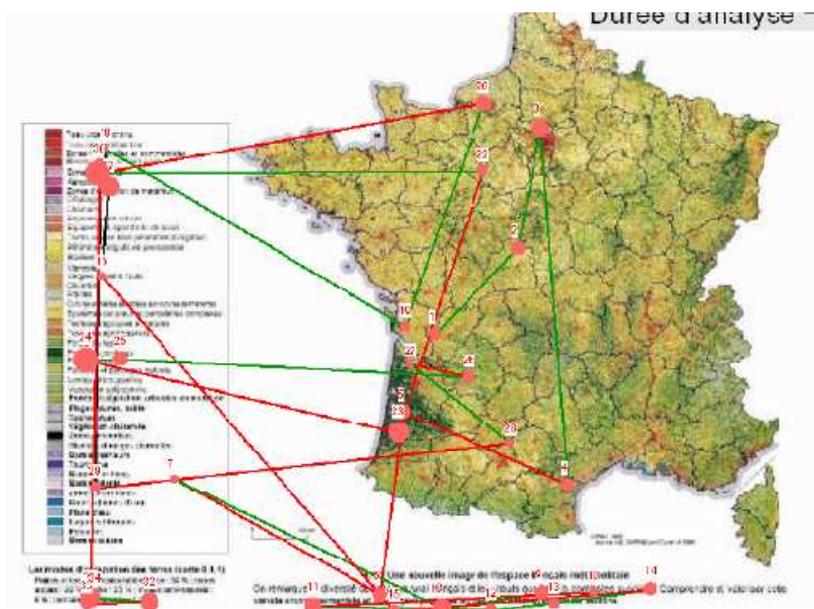
Figure 62 :
Analyse dynamique de la
carte 1.
Source : PFE 2008-2009



Sur la carte 1, ces amplitudes sont dues :

- à l'éloignement entre la légende et la zone graphique. Ceci génère une « zone blanche » entre les deux éléments.
- A la dispersion de la lecture due au trop grand nombre d'aplats de couleurs, et à l'absence d'éléments marquants dans la zone graphique.
- La difficulté de lecture de la légende entraîne de fréquents allers-retours entre carte et légende. L'illustration ci-dessous montre un exemple de personne du groupe « utilisateur régulier » présentant de nombreux allers-retours et des saccades de grandes amplitudes sur la zone graphique.

Figure 63 :
Exemple d'analyse spatiale de
la carte 1.
Source : PFE 2008-2009



Sur la carte 4, les faibles amplitudes pourraient au contraire s'expliquer par la proximité relative des éléments principaux entre eux, comme en témoigne l'analyse dynamique ci-dessous.

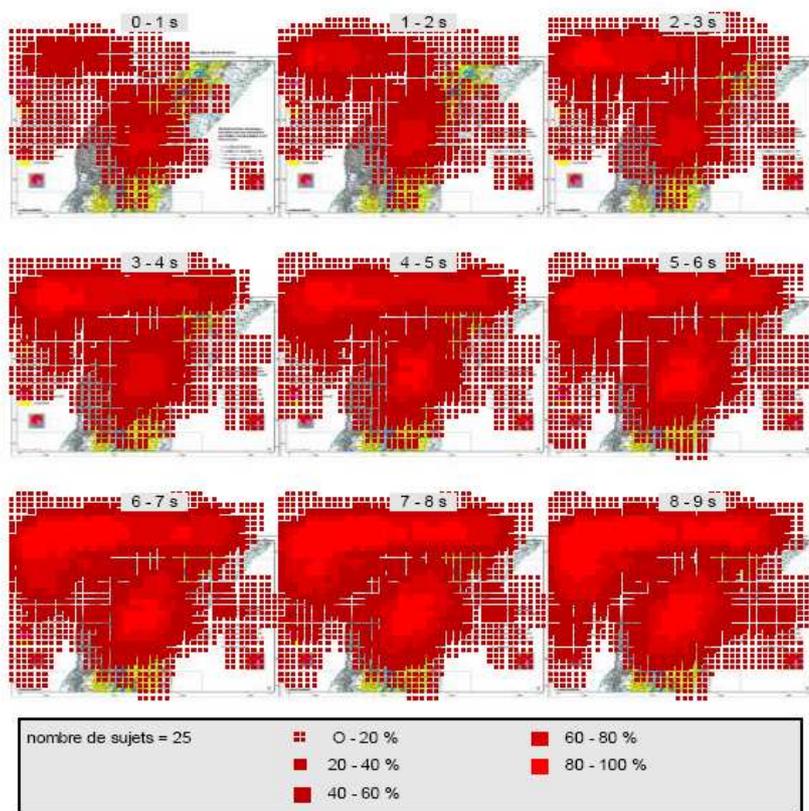


Figure 65 :
Analyse dynamique de la
carte 4.
Source : PFE 2008-2009

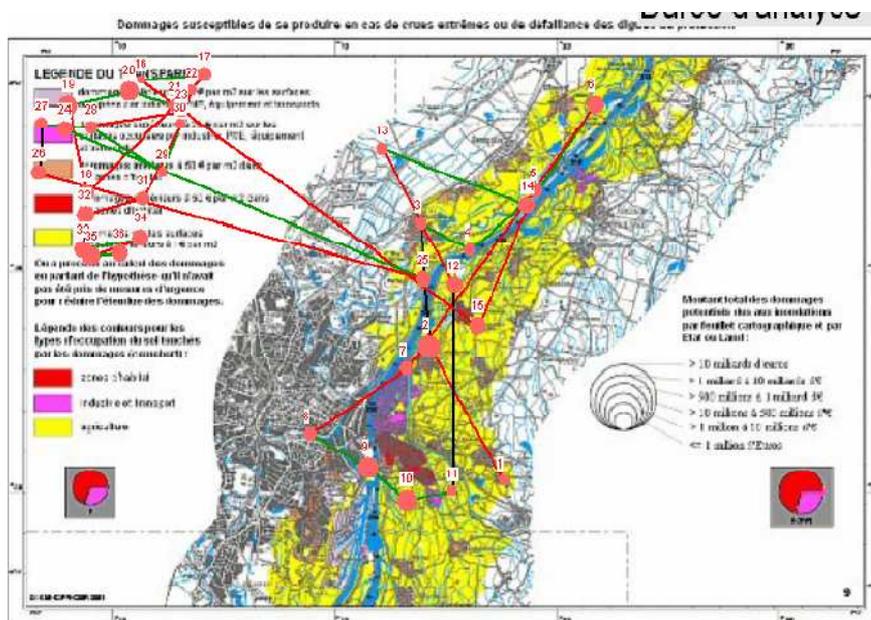


Figure 64 :
La carte 4 présente très peu
d'espace perdu entre les blocs
de légende et la zone
graphique.

Source : PFE 2008-2009

C. Recommandations en matière de cartographie

Le but de ce Projet de Fin d'Etude est d'établir une liste non exhaustive de recommandations à mettre parallèle avec les règles de sémiologie graphique classique. Le travail effectué grâce à l'approche de la sémiologie graphique expérimentale permet de mettre en évidence certains éléments susceptibles de servir de base à l'amélioration de cartes de risque afin qu'elles deviennent plus efficaces. Il n'est bien entendu pas question de renier les règles de la sémiologie Bertinienne mais d'aider les cartographes à élaborer des documents graphiques mieux adaptés aux différents types de destinataires (habitants, élus, techniciens, etc.)

Si l'étude avec le vidéo-oculographe a permis de dégager le plus de recommandations pour l'ensemble des trois catégories de personnes, c'est l'enquête cognitive qui a dégagé des spécificités par types de destinataire. Afin d'élaborer ce chapitre 3, nous avons croisé les résultats de l'étude (vidéo-oculographe et enquête cognitive) avec le diagnostic établi dans la partie 2 et surtout dans le PFE de Maxime Graziano, sur la sémiologie graphique classique issue de la réglementation.

1. Recommandations générales

Il est possible de dégager des principes généraux, valables quelque soit le destinataire :

- Notre étude permet de confirmer certains résultats issus du Projet de Fin d'Etude d'Aude Bignard. Le premier d'entre eux est la **stratégie de lecture** d'une carte qui commence toujours au centre, où figurent les informations principales ; puis l'œil cherche le titre, se dirige vers la légende et enfin revient sur la zone graphique pour tenter d'approfondir la compréhension de la carte. C'est à cette étape seulement que des informations complémentaires peuvent être comprises.
- Les **zones de texte** sont particulièrement **attractives**, il faut donc les traiter avec une attention particulière. Cela est certainement dû à notre culture commune, basée sur la lecture.
 - Le **titre** est l'élément que le destinataire recherche lors des premières secondes de lecture. Afin que celui-ci soit accessible facilement, il est préférable de le placer en haut de la feuille avec une police de grande taille.
 - La **légende**, élément non moins important, a plus de chances d'être lue lorsqu'elle se situe à droite de la zone graphique. Il est probablement possible d'expliquer cela par le fait que dans la civilisation judéo-chrétienne, la lecture se fait de gauche à droite. Les éléments de texte contenus dans la légende doivent réellement permettre d'expliquer la signification des couleurs. Il n'est alors pas question de mettre « zone rouge ou bleue » mais au contraire d'expliquer de manière concise la réglementation en vigueur sur la dite zone.
 - Les éléments de **texte contenus dans la zone graphique** doivent être en nombre relativement restreint et apporter de l'information (sur la localisation notamment). La police de ces textes ne doit jamais dépasser celle du titre. Une certaine hiérarchisation doit être établie afin de ne pas perturber la stratégie visuelle de l'observateur.
- Les **couleurs** ont également un rôle non négligeable à jouer dans le phénomène d'attraction de l'œil.

- En ce qui concerne la **légende**, cette dernière doit être constituée d'un nombre relativement réduit d'informations, la discrétisation doit se faire avec un nombre de classes peu important. Il faut donc que tous les figurés qui ne sont pas présents sur la zone graphique soit supprimés.
Les **couleurs vives** sont à privilégier car les couleurs **pastel** fixent moins le regard. Ces dernières peuvent donc éventuellement être utilisées pour représenter les informations secondaires.
Le nombre de figurés **hachurés** est à réduire au maximum. En effet, des hachures verticales, horizontales et obliques peuvent se confondre et nuire à une bonne lecture de la carte.
Enfin, les couleurs utilisées pour représenter un phénomène doivent être le plus possible en lien avec leurs **valeurs symboliques**. Le bleu pour représenter l'eau semble adapté mais en ce qui concerne la matérialisation du risque, le rouge⁴⁴ tend à être préféré.
- La hiérarchisation de la légende est extrêmement importante. Il apparaît qu'une carte qui suit une **organisation hiérarchique des couleurs** en fonction de l'importance des phénomènes représentés est plus lisible. De même, selon les préceptes de Colette Covin, quand il s'agit de représenter avec la couleur un caractère ordonné, une carte correcte devrait utiliser un dégradé dans une seule couleur classé dans le bon ordre.
- L'œil a tendance à suivre un **axe**, et cette tendance augmente lorsque celui-ci est matérialisé par des couleurs vives. Afin de permettre une bonne lecture, il est préférable de placer les éléments principaux sur une diagonale. Les informations importantes se retrouveront ainsi au centre de la zone graphique. Les bords de la cartes n'attirent que très peu l'œil, il est donc dommageable d'y faire apparaître des informations de premier ordre.
- Le **fond de carte** doit faire l'objet d'un traitement approprié. Afin de d'améliorer la lisibilité, ce dernier doit être de couleur claire pour permettre d'améliorer les contrastes entre fond et figurés (couleurs vives). Seuls les éléments permettant de se repérer spatialement doivent être conservés (courbes de niveau, etc. ne sont pas toujours utiles).
- Le dernier point valable pour l'ensemble des groupes de destinataires est lié à la **disposition des éléments** entre eux. Le cartographe devra au maximum s'efforcer de rapprocher la légende et le titre de la zone graphique. En limitant les zones vides, les mouvements visuels seront plus courts et le lecteur sera moins « perdu » dans la carte.

⁴⁴ Voir PFE de Maxime Graziano, partie 2, chapitre 2.

2. Une carte pour chaque destinataire

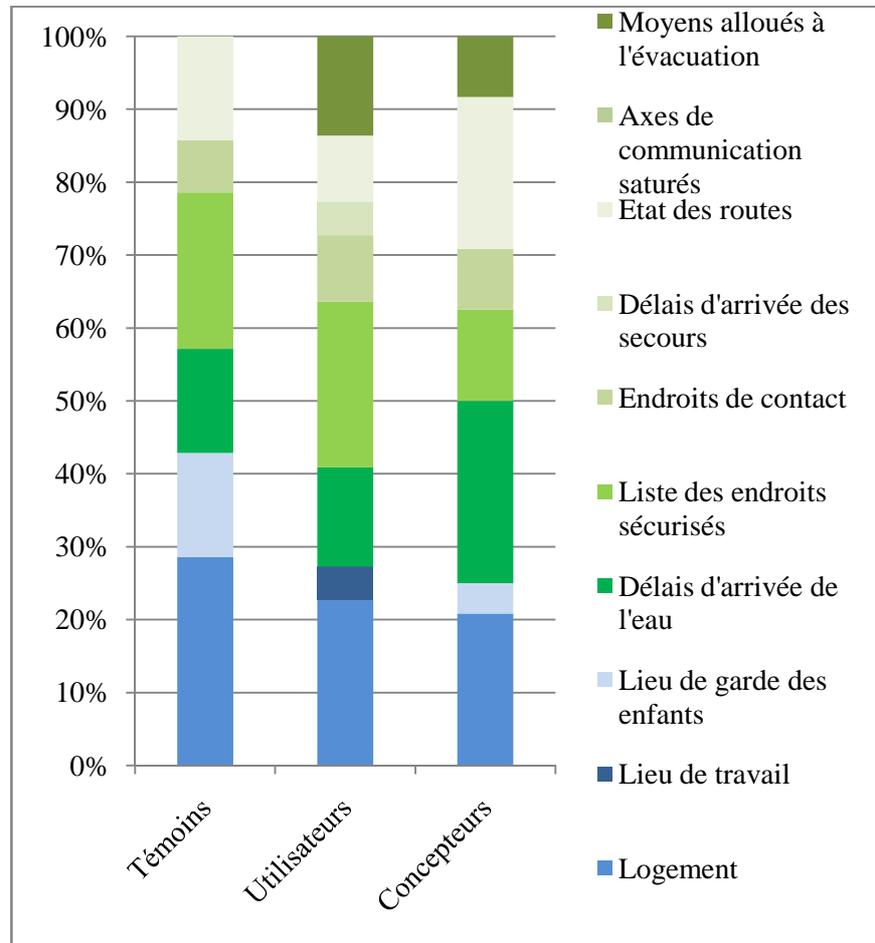
Attentes des témoins en termes de cartographie

	carte 1	carte 2	carte 3	carte 4	carte 5	carte 6	carte 7	carte 8	carte 9
1				Trop fouillie		complexe	légende assez dense		
2								Plus rapidement analysable	
3	Légende très dense							La plus lisible	La plus claire
4						beaucoup de texte		Perception rapide carte peu chargée permet une analyse simple Légende bien présentée en colonnes bien distinctes	Perception rapide des zones exposées, Légende d'un seul côté bien ordonnée
5								Abréviation dur à comprendre	Plus simple
6								Pas compris	Bonne lecture de carte

Tableau 14 :
Quelques attentes des
« témoins » en termes de
cartographie.
Source : PFE 2008-2009

- Les témoins recherchent des cartes **faciles à lire** ce qui signifie qu'elle soient **synthétique** avec un **nombre d'informations relativement réduit**. L'analyse rapide est donc un critère extrêmement important.
- La **légende** doit être en un seul bloc et bien ordonnée. La présentation en colonne est à préférer.
- Le **titre** et les **zones de textes** doivent être bien lisibles et écrits en toutes lettres (ne pas mettre d'abréviations).

Figure 66 :
Attentes des témoins en
termes de cartes traitant du
risque d'inondation.
Résultats issus de l'enquête
cognitive.
Source : PFE 2008-2009



Il ressort de l'analyse de la question sur les besoins des sujets posée dans l'enquête cognitive que les trois groupes n'ont pas les mêmes attentes. Sur le graphique ci-dessus, les éléments représentés en bleu sont ceux concernant les vulnérabilités des lieux de vie quotidienne. Ceux en vert sont des paramètres utiles en cas d'inondation. La représentation des premiers sur une carte exige une grande échelle afin de les localiser précisément, tandis que les seconds demandent une échelle plus petite pour être représentés et appréhendés correctement.

- Il faut donc une grande échelle pour les témoins, afin de leur permettre d'observer le phénomène de très près et même de cerner si oui ou non le phénomène peut affecter un lieu connu. (Cumul des réponses concernant la première partie (en bleu) du QCM = 42%, soit un chiffre supérieur aux deux autres catégories de destinataires).

Attentes des concepteurs en termes de cartographie

Les concepteurs recherchent des cartes :

1	Peut être trop d'exhaustivité		Compréhension difficile en peu de temps	Trop dense. Impossible de la comprendre en peu de temps				Elle se focalise sur l'essentiel (niveau de risque et localisation)	Beaucoup plus simple, compréhension facilitée
---	-------------------------------	--	---	---	--	--	--	---	---

2					Beaucoup de jaune		Incompréhension du titre		Légende claire et précise en concordance avec la cartographie, couleurs indicatives
3	légende très complexe	Aucune zone ne ressort nettement	pas très clair sur l'information essentielle représentée	Esthétique agréable	Intérêt en termes d'aide à la décision	Légende intuitive mais compliquée	Il faut du temps pour comprendre une telle carte	Légende plus courte et explicite	Simple mais efficace
4				Intéressant pour élus car données économiques (nerf de la guerre), offre beaucoup de précision		Très opérationnel car le bâti apparaît	Opérationnel, représente l'ensemble des risques en une seule carte	Lecture facile	Trop généraliste manque de précision
5	Légende trop longue, titre mal placé, trop de texte	Trop d'information, pas assez de contrastes	Trop d'informations, + superposition d'informations	Choix des couleurs intéressant, lecture rapide	Légende mal placée, titre trop petit, couleurs peu adaptées	Bonne lecture, légende intéressante, bon choix de couleurs	Lecture difficile, mauvais choix de couleurs, légende trop longue, trop d'informations	Titre mal placé mais carte facile à lire	Bonne cartographie, lecture facile et rapide, bon choix de couleurs
6			je ne la comprends pas	Attiré par le titre de la légende avant le titre général (car trop long)	Manque de précision	Mal cadrée, zone d'intérêt excentrée	Légende couleurs unies ok, légende hachures trop complexes	Titre en bas pas évident	claire et précise
7	Informations trop dense, légende trop longue			Le titre est clair et la légende aussi	pas de légende claire	par manque d'habitude difficulté à lire la légende innovante	La légende semble plus riche que la carte, le fond ressort trop	Lecture du titre en bas difficile, le rouge empêche la lecture	carte très claire, les couleurs représentent bien le phénomène
8				Complete, précise		Légende difficile à comprendre, compréhension difficile	peu d'utilité à avoir une représentation de l'occupation des sols	efficace visuellement	Simple et efficace
9	trop de classes, difficile d'avoir une échelle plus petite que la France	Le figurés ponctuels ne ressortent pas assez = amélioration des contrastes		Complète	carte esthétique mais trop grande échelle	difficile à lire	trop d'informations sur cette carte, les hachures sont illisibles	l'effet "buffer" est parlant	les figurés ponctuels sont trop petits

Tableau 15 :
Quelques attentes des
« concepteurs » en termes de
cartographie.
Source : PFE 2008-2009

- Les concepteurs recherchent des cartes ayant pour but de mettre en place des actions (opérationnelles). Les cartes complexes, de part leur habitudes de lecture, ne sont pas toujours considérées comme inintéressantes. Au contraire, on remarque une tendance à désapprouver les cartes trop synthétiques.

Attentes des utilisateurs réguliers en termes de cartographie

Les utilisateurs réguliers, un mélange des deux attentes :

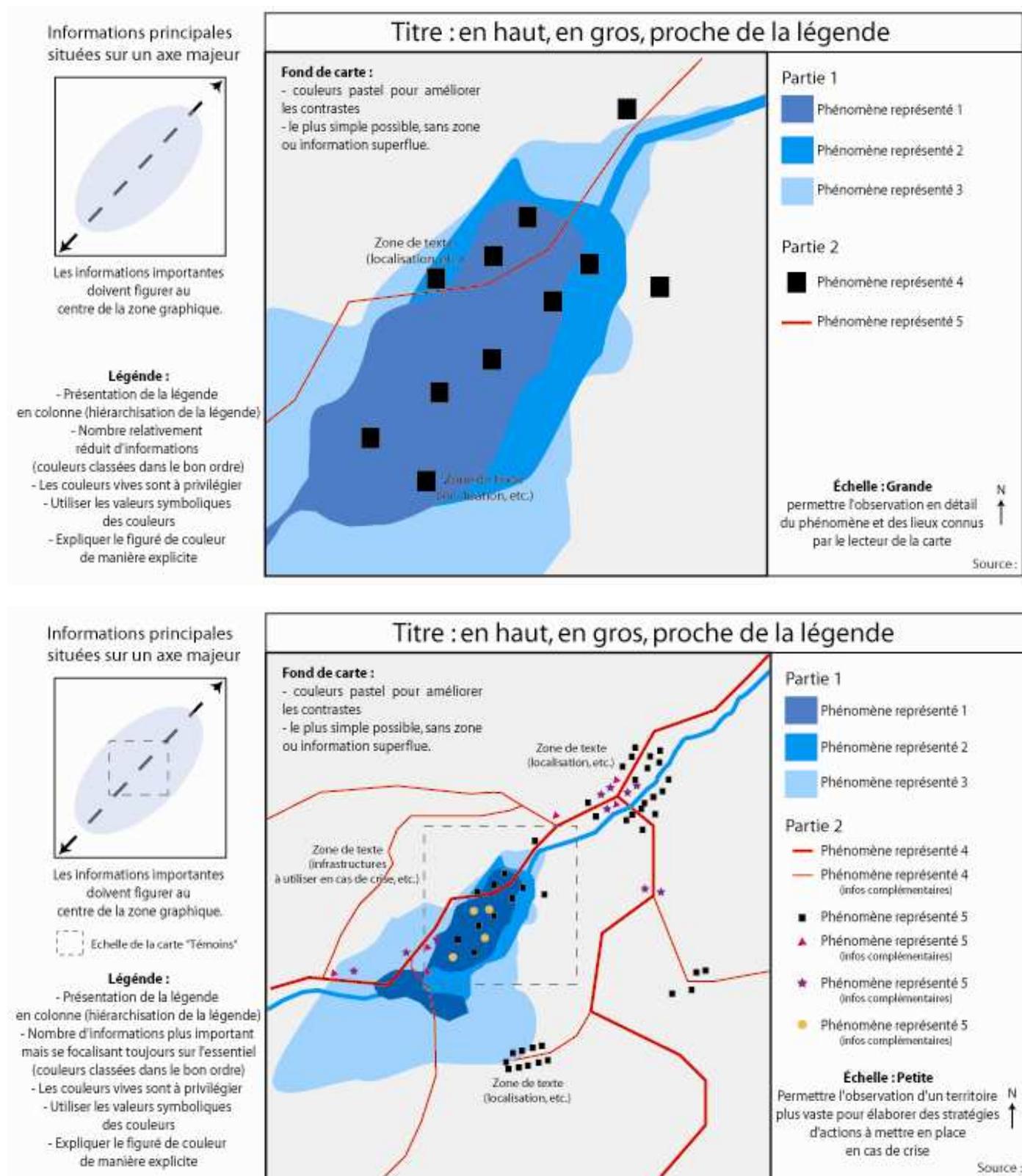
	carte 1	carte 2	carte 3	carte 4	carte 5	carte 6	carte 7	carte 8	carte 9
1				Echelle petite = territoire vaste donc plus pertinent pour appréhender le risque d'inondation			Rien compris	Informations quantifiées	
2	Rien compris, beaucoup trop dense		Rien compris	Trop d'info, tue l'info	Nécessite un plan de situation pour localiser	textes lisibles et compréhensibles	Aménagement du territoire global, permet la prise de conscience du risque = outil de réflexions	Bien retenu la présence des habitations par rapport aux zones à risque ce qui importe en cas d'accident pour diriger l'action en faveur des personnes	Connaissance globale, facile à mémoriser
3					Seule la moitié droite est utile	Pas grand chose de compris		Même figurés pour 2 informations	Bonne carte, nombre d'informations réduits et carte synthétique
4			Légende écrite petit		Assez claire donc facilement utilisable politiquement	Légende peu compréhensible			
5	Légende petite, texte petit, trop d'informations	carte assez claire	Message pas clair, trop d'informations Le titre est lisible	Titre peu lisible	Titre trop petit, les couleurs sont trop proche pour bien comprendre la différence en 15 secondes	Difficulté de localisation	Bonne échelle d'étude pour étudier le risque d'inondation	légende partiellement compréhensible	Très clair, lisible légende précise

Tableau 16 :
Quelques attentes des « utilisateurs réguliers » en termes de cartographie.
 Source : PFE 2008-2009

Les utilisateurs réguliers, de part leurs comportements face aux cartes et de part l'hétérogénéité relative de ce groupe dans notre échantillon, se révèlent avoir des besoins mêlant ceux des concepteurs et des témoins.

CONCLUSION GENERALE

1. Schémas de synthèse des recommandations



2. Critique du travail effectué

Ce travail de recherche s'est inspiré de travaux antérieurs et a tenté d'aller plus loin que ce qui a déjà pu être réalisé dans le domaine de la sémiologie graphique expérimentale, à travers le programme de recherche Era-Net CRUE 1 notamment.

Cet objectif est atteint dans le sens où certains points spécifiques à chaque groupe de destinataires des cartes ont pu être dégagés. Cependant, ce travail se heurte (comme ses prédécesseurs) à la faible taille de son échantillon, et à l'hétérogénéité de sa discrétisation qui en découle. En l'absence de modalités d'expérimentation nouvelles, cet obstacle ne pourra être surmonté sans un investissement en temps important de la part de l'équipe de recherche.

Par ailleurs, ce PFE aura certainement pâti de quelques difficultés d'ordre organisationnel liées à la structuration de l'année scolaire de DA5 et, dans une moindre mesure, aux disponibilités du matériel gracieusement mis à disposition par l'hôpital.

Il n'en reste pas moins que cette approche opérationnelle de la recherche fut très enrichissante, de même que le travail en équipe et l'autoformation sur un sujet faisant par ailleurs l'objet de programmes de recherche européens.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- BEGUIN M., PUMAIN D., (1994), « La représentation des données géographiques », Armand Colin, 192 pages.
- BERTIN J., (1977), « La graphique et le traitement graphique de l'information », Collection Nouvelle, Flammarion, 277 pages.
- BIGNARD A., (2008), « Cartographie du risque d'inondation : perception et aide à la décision en aménagement », mémoire du Projet de Fin d'Études, sous la direction de K. Serrhini, Département Aménagement, École Polytechnique Universitaire de Tours, 139 pages.
- BORD J.-P., (1997), « Le géographe et la carte. Point de vue et questionnement de la part d'un géographe cartographe », *Cybergeo*, Cartographie, Imagerie, SIG, article 17, mis en ligne le 20 mars 1997, modifié le 31 juillet 2007. URL : <http://www.cybergeo.eu/index6470.html>. Consulté le 11 janvier 2009.
- BRUNET R., (1986), « La carte - modèle et les chorèmes », Mappemonde, 4 pages.
- BRUNET M., WATELLE V., (2004), « Sémiologie graphique : Traiter et représenter l'information quantitative », Université d'Orléans, 3 pages.
- BULLETIN DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE APPLIQUEE AUX ACTIVITES DE RECHERCHE DEVELOPPEMENT, (2008), « Initiation à la sémiologie graphique ou « Comment construire des cartes lisibles et efficaces » ? », n°1 – Avril, 8 pages.
- CAMPHIUS N. G., directeur du Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation, (2008), « La directive européenne inondation et les évolutions qu'elle peut provoquer vis-à-vis de la situation française », 41 pages, consultable sur le site du CEPRI <http://www.cepri.net/>.
- CEMAGREF (2008), « Evaluer les risques d'inondation », 2 pages.
- CETE du Sud Ouest, (2006), « Cartorisque », Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD), Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques (DPPR), 44 pages.
- CHESNEAU E., (2007), « Etude des contrastes de couleur pour améliorer la lisibilité des cartes – application aux cartes de risque », consultable sur le site : www.documents.strabisme.net/page1201/page1201.html, 14 pages.
- CHESNEAU E., (2006), « Propositions méthodologiques pour l'amélioration automatique des contrastes de couleur - application aux cartes de risque », *Cybergeo*, Sélection des meilleurs articles de SAGEO 2005, article 360, mis en ligne le 14 novembre 2006, modifié le 04 juillet 2007. URL : <http://www.cybergeo.eu/index2889.html>. Consulté le 25 janvier 2009.
- COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, (2004), « Communication de la commission au conseil, au parlement européen, au comité économique et social européen et au comité des régions - Gestion des risques liés aux inondations - Prévention, protection et mitigation des inondations », site internet de la Communauté Européenne, 13 pages.
- COMITE FRANÇAIS DE CARTOGRAPHIE, (1988), « Théorie de l'expression et de la représentation cartographiques », Fascicule n°117-118, 89 pages.

DAUPHINE A., (2001), « Risques et catastrophes ; Observer – Spatialiser – Comprendre – Gérer », Armand Colin, 287 pages.

EDATER MATE/DPPR/SDPRM, (2001), « Expertise du volet cartographique des DCS. Cahier de recommandations », consultable sur le site prim.net : http://www.prim.net/professionnel/procedures_regl/infos_pratiques/Cahier_de_recommandations.pdf, 5 pages.

EUROPEAN EXCHANGE CIRCLE ON FLOOD MAPPING, (2007), « Handbook on good practices for flood mapping in Europe », 198 pages.

FERLAND Y., (2000), « Les défis théoriques posés à la cartographie mènent à la cognition », *Cybergeo*, Colloque "30 ans de sémiologie graphique", article 148, mis en ligne le 17 novembre 2000, modifié le 15 février 2007. URL : <http://www.cybergeo.eu/index499.html>. Consulté le 11 janvier 2009.

FINKEL A.M., « Perceiving Others' Perceptions of Risk; Still a Task for Sisyphus », Environmental and Occupational Health, UMDNJ School of Public Health, and Penn Program on Regulation, University of Pennsylvania Law School, 17 pages.

GARRY G., (1994), « Evolution et rôle de la cartographie dans la gestion des zones inondables en France », *Mappemonde* 4/94, 7 pages.

HUBERT G. et de VANSSAY B., (2005), « *Le risque d'inondation et la cartographie réglementaire. Analyse de l'efficacité, des impacts et de l'appropriation locale de la politique de prévention.* », Programme de recherche « Evaluation et prise en compte des risques naturels et technologiques », Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, consultable sur le site du ministère : http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_hubert_OK.pdf, 188 pages.

LANTHONY Docteur P., (2007), « Dictionnaire du Strabisme, Physiologie et Clinique », consultable sur le site : www.documents.strabisme.net/page1201/page1201.html, 196 pages.

P. LOSLEVER, F. ROUSSEAU, J.-C. ANGUE, (1994), « Analyse des mouvements oculaires durant l'observation d'une image publicitaire : données oculométriques et réponses à une question », *Les Cahiers de l'Analyse des Données* Vol. XIX n°4 pp.453-474, consultable sur le site : <http://thames.cs.rhul.ac.uk/~fionn/CAD/CAD-1994-19-4-453-474.pdf>, 22 pages.

IFEN, (2006), « La société face aux risques majeurs », 17 pages, consultable sur le site de l'IFEN : http://www.ifen.fr/uploads/media/risques_ree2006.pdf

IFEN, (2008), « Méthodologie d'estimation des enjeux exposés aux inondations, document technique », consultable sur le site de l'IFEN : http://www.ifen.fr/fileadmin/publications/Documents_techniques/methodologie_enjeux_expositions_inondations.pdf, 13 pages.

LE FUR A., (2007), « Pratiques de la cartographie », Armand Colin, 2ème éd, 127 pages.

LEOBET M., (2007), « La cartographie sur l'Internet au service du citoyen : un enjeu d'usages », *L'information géographique, géosciences* n°6, 10 pages.

MCKENDRY J. E., (2000), « The influence of map design on resource management decision making », *Cartographica*, vol 37/2, 12 pages.

MCKENDRY J. E., MACHLIS G. E., (2008), « Cartographic design and quality of climate change maps », Springer Science, 12 pages.

METZ C., (1971), « Réflexions sur la "Sémiologie graphique" de Jacques Bertin » *Persée, Annales* Vol. 26 n°3, 28 pages.

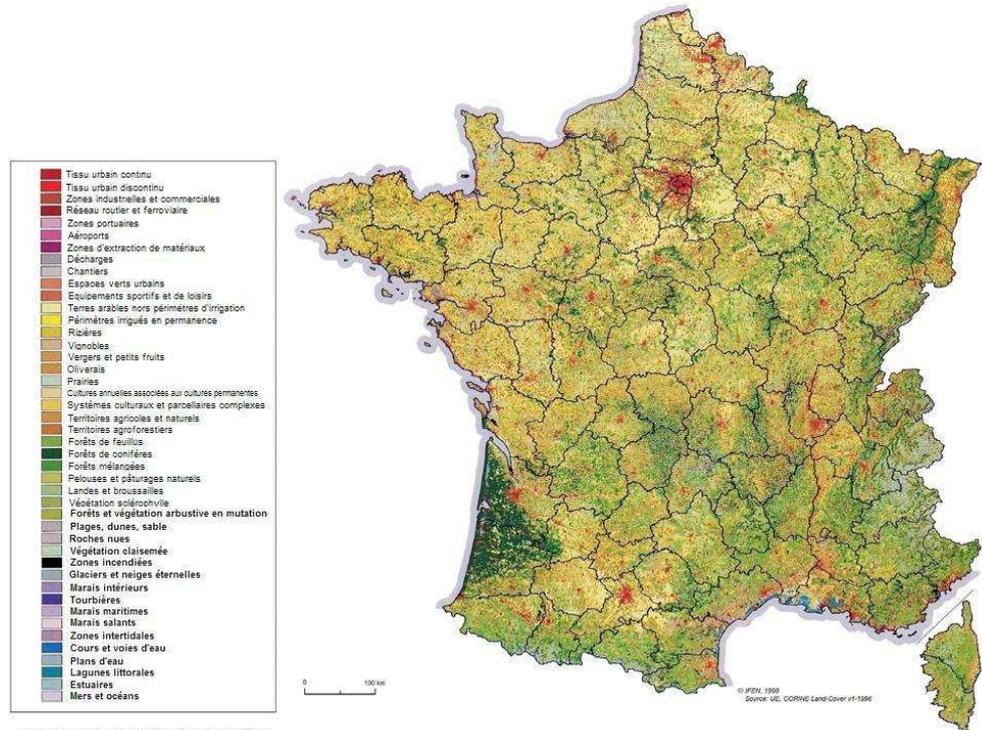
MOULIN P., (2006), « Pour une pertinence de l'information géographique dans la gestion de crise... », *Mémoire de recherche*, Université Paul Cézanne Aix-Marseille III, Institut d'Aménagement Régional, 120 pages.

- PALSKY G. et ROBIC M.-C., (2000) « Aux sources de la sémiologie graphique », *Cybergeo*, Colloque "30 ans de sémiologie graphique", article 147, mis en ligne le 17 novembre 2000, modifié le 2 mai 2007. URL : <http://www.cybergeo.eu/index554.html>. Consulté le 11 janvier 2009.
- POTTIER N., VEYRET Y., MESCHINET N., HUBERT G., RELIANT C., DUBOIS J., « Evaluation de la politique publique de prévention des risques naturels », 13 pages.
- M. A. QUERE et orateurs, (2006), « Les mouvements oculaires en pratique courante », consultable sur le site : <http://www.documents.strabisme.net/page1551/page1551.html>, 128 pages.
- REKACEWICZ P., (2006), « La cartographie, entre science, art et manipulation », *Le Monde Diplomatique*, 15 pages.
- Jan Ketil ROD, (2000), « The third choice », *Cybergeo*, Colloque "30 ans de sémiologie graphique", article 154, mis en ligne le 17 novembre 2000, modifié le 11 janvier 2007. URL : <http://www.cybergeo.eu/index1625.html>. Consulté le 11 janvier 2009.
- ROY A., (2005), « La perception sociale des risques naturels », *IFEN N°99*, 4 pages.
- SERRHINI K., « Evaluation spatiale de la covisibilité d'un aménagement. Sémiologie graphique expérimentale et modélisation quantitative », Thèse de doctorat, CESA, 481 pages.
- SERRHINI K., SPACHINGEZ K., DORNER W., METZKA R., FUCHS S., (2008), « Flood Risk and Flood Hazard Maps – Visualisation of Hydrological Risks », *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, XXIVth Conference of the Danubian Countries, 17 pages.
- WEGER G., (1999), « Cartographie - volume 1 : sémiologie graphique et conception cartographique », *Ecole Nationale Des Sciences Géographiques*, 141 pages.

Annexes n°1 : Les cartes testées

Carte 1 (S1C1) :
Une nouvelle image de
l'espace français métropolitain

Source : IFEN



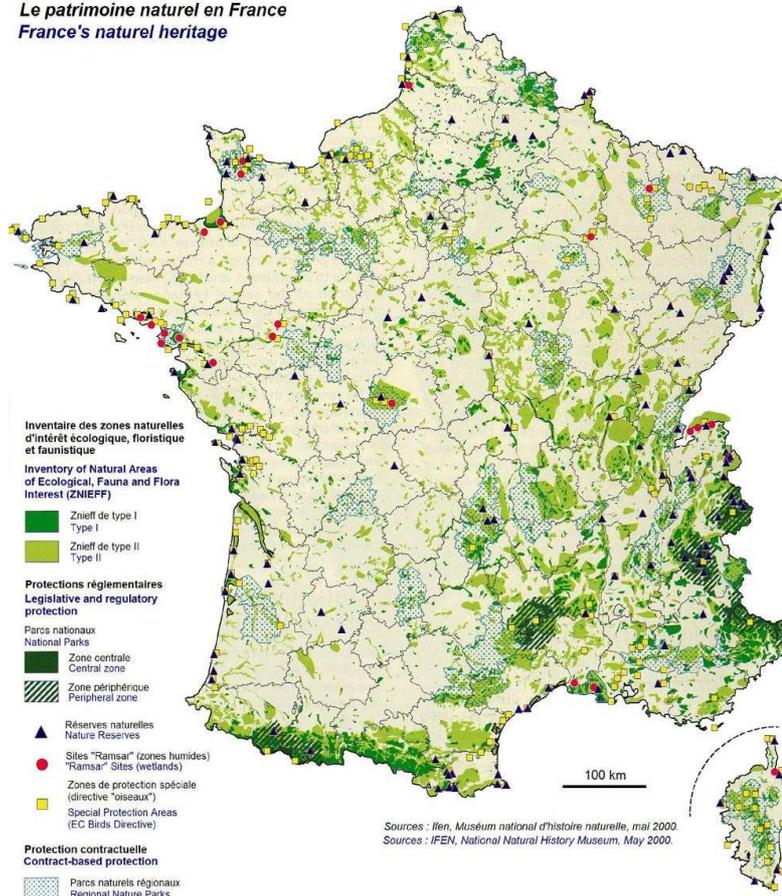
8.1.1 Une nouvelle image de l'espace français métropolitain

On remarque la diversité de l'espace rural français et les atouts que de tels contrastes suscitent. Comprendre et valoriser cette variété environnementale et paysagère participe au défi de l'aménagement du territoire.

Le patrimoine naturel en France France's natural heritage

Carte 2 (S1C2) :
Le patrimoine naturel en
France

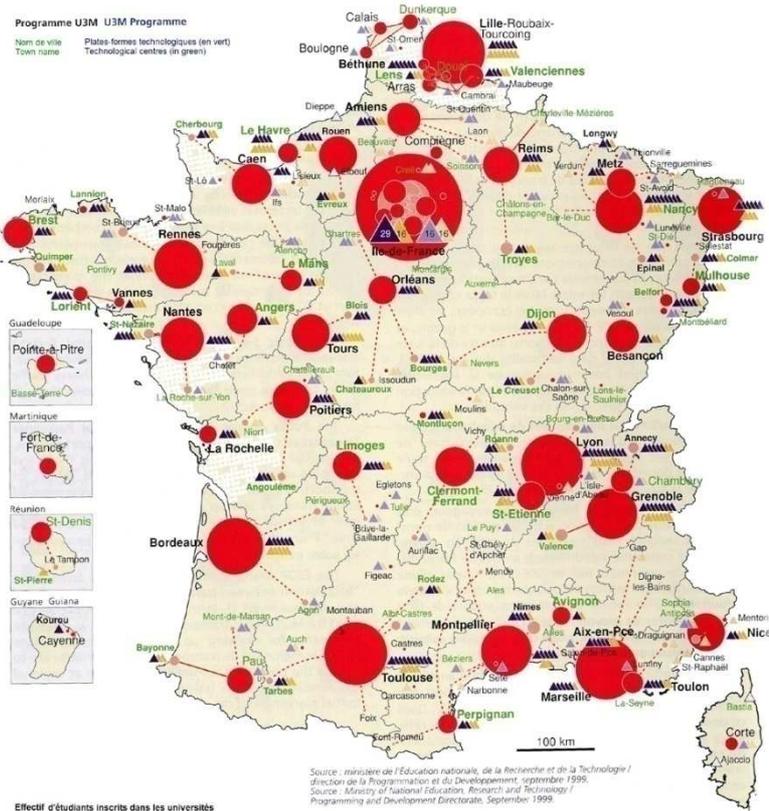
Source : IFEN



Les orientations du programme «Université du troisième millénaire» (U3M)
Aims of the "University for the 3rd Millennium" Programme (U3M)

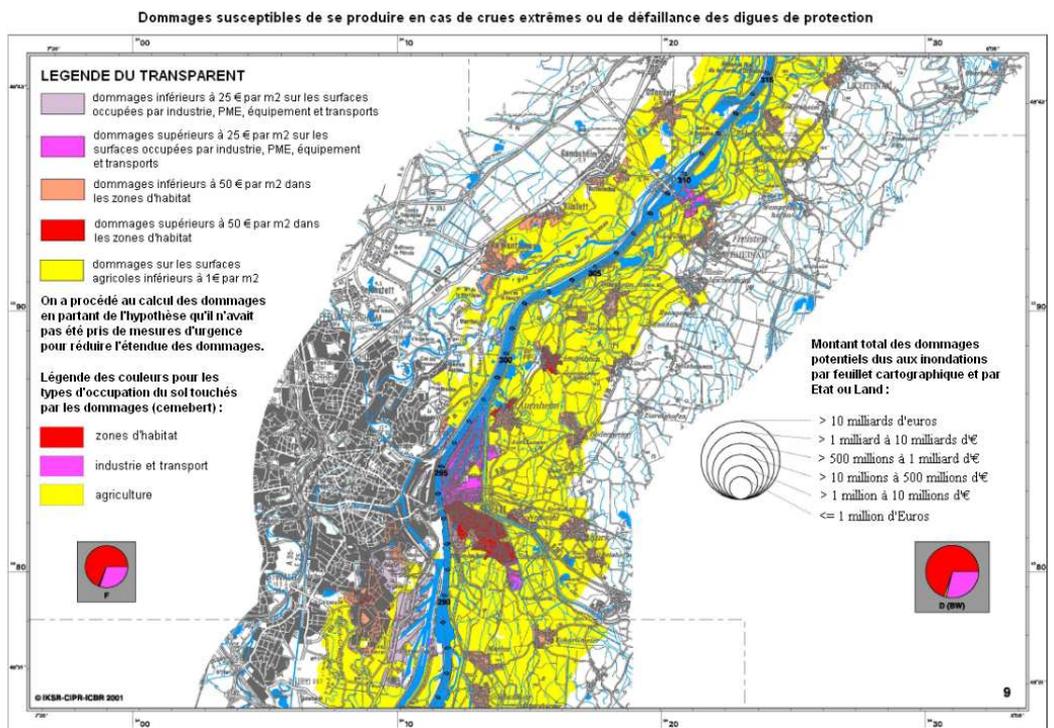
Carte 3 (S1C3) :
Les orientations du programme
« université du troisième
millénaire »

Source : Ministère de l'éducation nationale, de la recherche et de la technologie



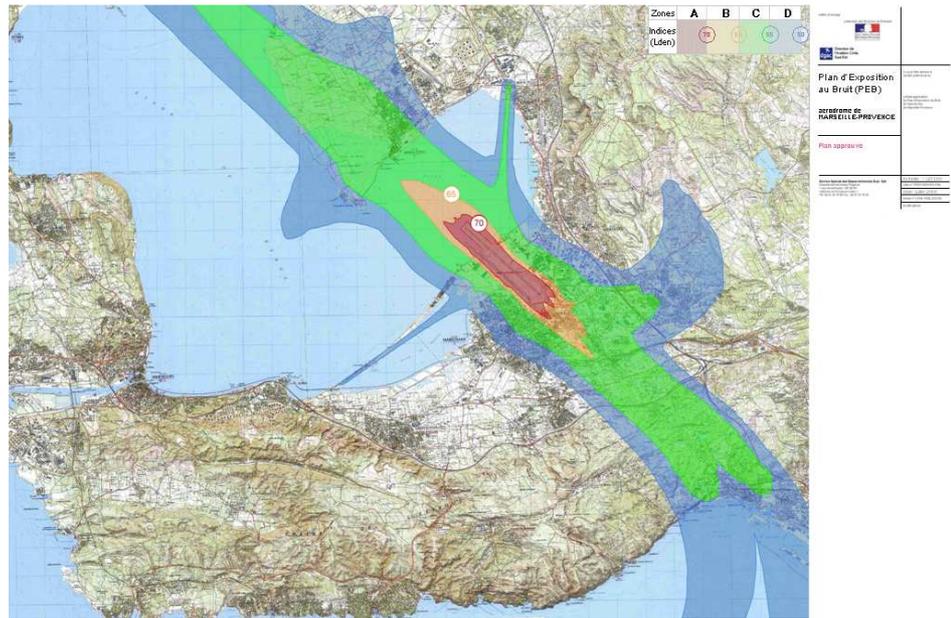
Carte 4 (S2C1) :
Dommmages susceptibles de se
produire en cas de crue
extrême ou de défaillance des
digues de protection

Source : IKSR-CIPR-ICBR modifications Kamal Serrhini



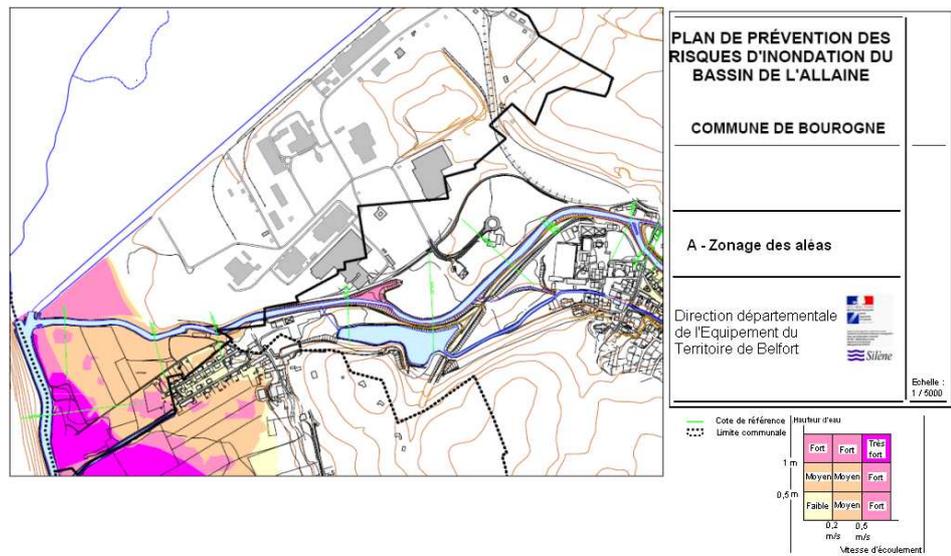
Carte 5 (S2C2) :
Plan d'Exposition aux bruits

Source : Services de l'Etat
 (Marseille-Provence)



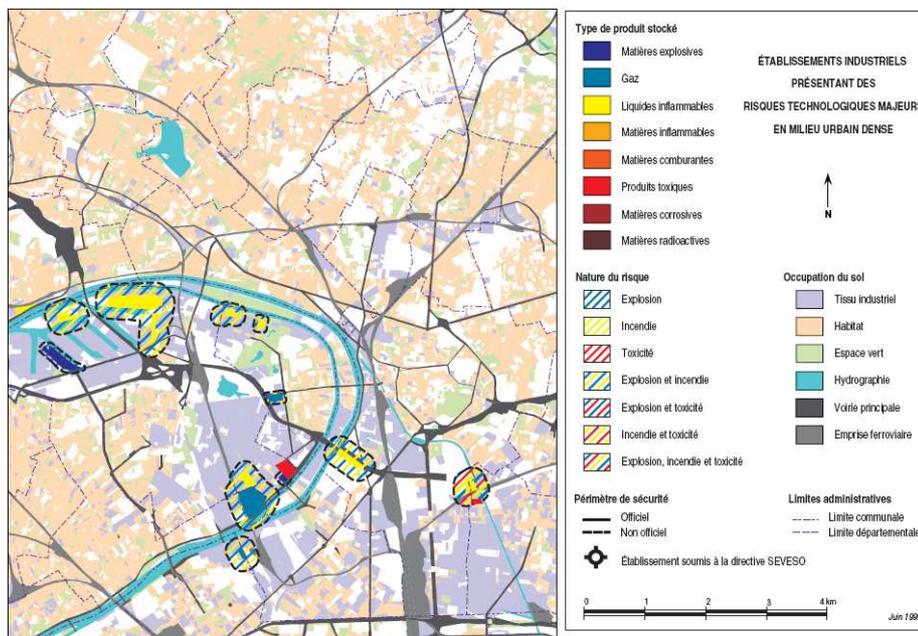
Carte 6 (S2C3) :
**Plan de prévention des risques
 d'inondation du bassin de
 l'Allaine**

Source : DDE du territoire de Belfort



Carte 7 (S3C1) :
**Les établissements industriels
 présentant des risques
 technologiques majeurs et leur
 périmètre d'isolement dans un
 tissu urbain dense**

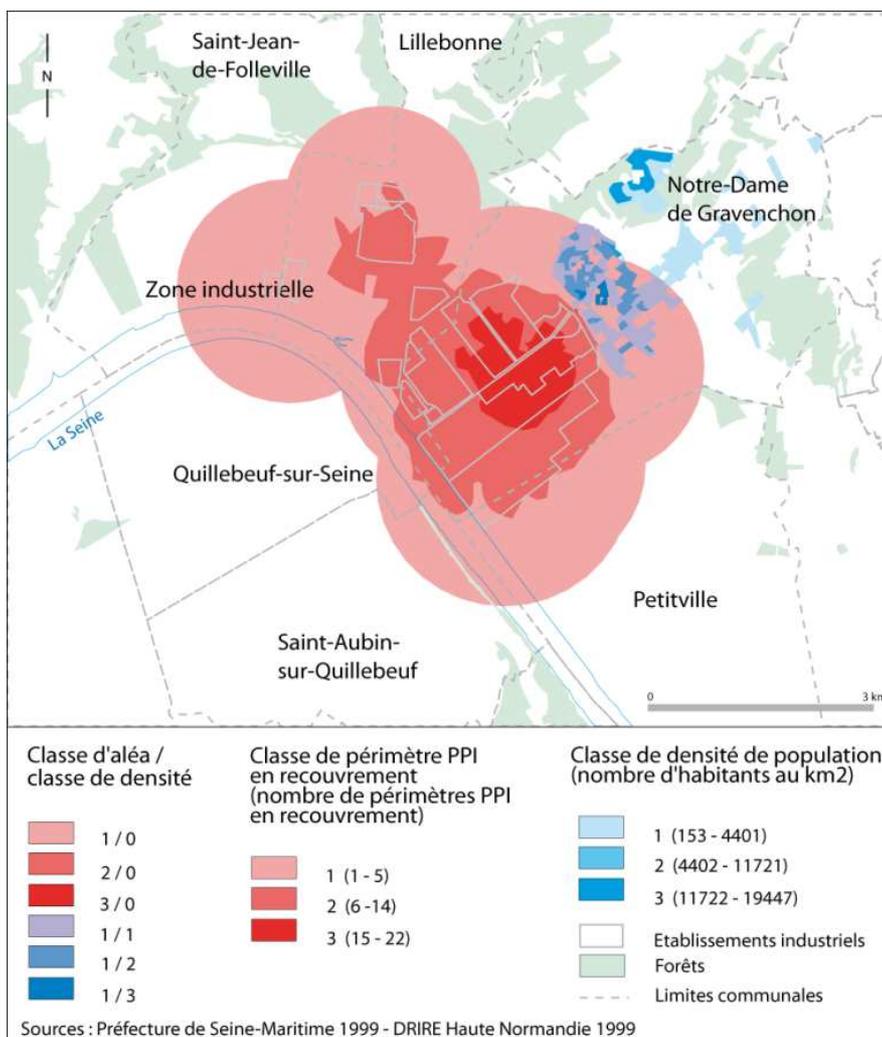
Source :



2. Les établissements industriels présentant des risques technologiques majeurs et leurs périmètres d'isolement dans un tissu urbain dense au 1/75 000 (extrait)

Carte 8 (S3C2) :
**Spatialisation du risque :
 Conjonction Aléas /
 Vulnérabilité**

Source : Préfecture de Seine Maritime, DDRE Haute Normandie

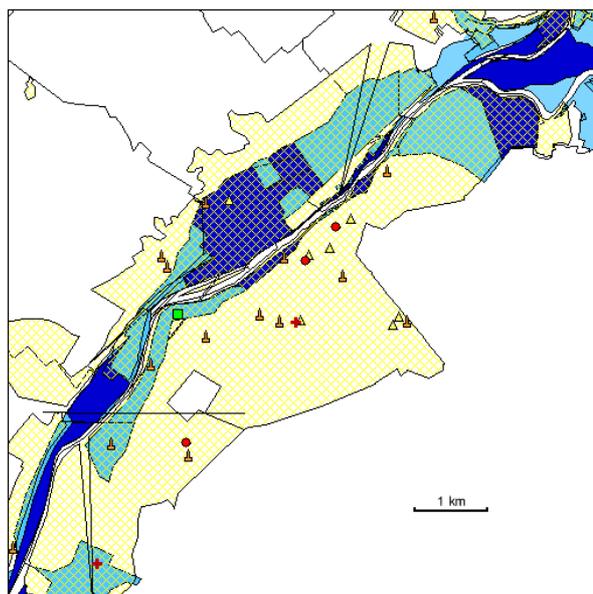


Spatialisation du risque : Conjonction Aléas / vulnérabilité

Le risque d'inondation et infrastructures sensibles sur la commune de Compiègne

Carte 9 (S3C3) :
**Le risque d'inondation et
d'infrastructures sensibles sur
la commune de Compiègne**

Source : Atelier Projet (AP13) UTC



Réalisation : Atelier Projet (AP13), Printemps 2005, UTC-GSU

- Zones inondables**
- Inondations de plus de 30 cm (1993)
 - Inondations de plus de 1 mètre
- Zones urbanisées**
- Zones urbanisées
- Constructions sensibles**
- Crèche
 - ▲ École primaire et maternelle
 - ✚ Hôpital
 - ▲ Maison de retraite
 - Pompiers et SDIS

Annexes n°2 : Le questionnaire



ENQUETE COGNITIVE



ANALYSE EXPLORATOIRE DE LA PERCEPTION VISUELLE DE CARTES ENVIRONNEMENTALES

I. Etat civil

Sexe : féminin masculin
Tranche d'âge : 20-30 ans 30-40 ans 40-50 ans 50-60 ans

Quel est votre niveau d'études le plus élevé ? Dans quel établissement scolaire l'avez-vous obtenu ?

.....

Activité : Chercheur ou enseignant
 Etudiant
 Autre :

II. Utilisation des cartes

II.1) À quelle fréquence utilisez-vous 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
-------------------------	-----------------	-------------------	----------------------	-----------------------------

II.2) Les cartes que vous utilisez dans votre profession sont :

- généralement réalisées par vous
- généralement réalisées par votre équipe ou service
- généralement réalisées par des unités externes
- seulement issues de sources externes
- autre :

II.3) Dans votre profession, les cartes sont principalement :

- une illustration
- un outil de recherche
- un outil pour la décision
- autre :

II.4) Qu'attendez-vous d'une carte traitant des inondations ?

Pour chacune des neuf cartes, répondez aux questions suivantes :



COMPLEXE

Facile Difficile

--	--	--	--	--	--	--	--

DENSE EN INFORMATIONS

Faible Fort

--	--	--	--	--	--	--	--

INNOVANTE

Faible Fort

--	--	--	--	--	--	--	--

ESTHETIQUE

Faible Fort

--	--	--	--	--	--	--	--

POLITIQUEMENT UTILE

Faible Fort

--	--	--	--	--	--	--	--

Qu'avez vous compris du message de la carte ?

Autres commentaires ?

S1C1



COMPLEXE

Facile Difficile

--	--	--	--	--	--	--	--

DENSE EN INFORMATIONS

Faible Fort

--	--	--	--	--	--	--	--

INNOVANTE

Faible Fort

--	--	--	--	--	--	--	--

ESTHETIQUE

Faible Fort

--	--	--	--	--	--	--	--

POLITIQUEMENT UTILE

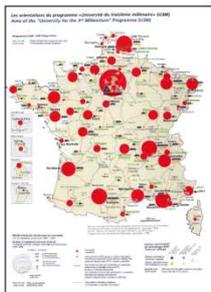
Faible Fort

--	--	--	--	--	--	--	--

Qu'avez vous compris du message de la carte ?

Autres commentaires ?

S1C2



COMPLEXE

Facile Difficile

--	--	--	--	--	--	--	--

DENSE EN INFORMATIONS

Faible Fort

--	--	--	--	--	--	--	--

INNOVANTE

Faible Fort

--	--	--	--	--	--	--	--

ESTHETIQUE

Faible Fort

--	--	--	--	--	--	--	--

POLITIQUEMENT UTILE

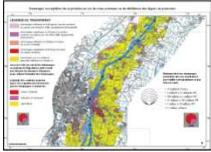
Faible Fort

--	--	--	--	--	--	--	--

Qu'avez vous compris du message de la carte ?

Autres commentaires ?

S1C3



COMPLEXE

Difficile

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

DENSE EN INFORMATIONS

Faible

Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

INNOVANTE

Faible

Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

ESTHETIQUE

Faible

Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

POLITIQUEMENT UTILE

Faible

Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Qu'avez vous compris du message de la carte ?

Autres commentaires ?

S2C1



COMPLEXE

Difficile

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

DENSE EN INFORMATIONS

Faible

Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

INNOVANTE

Faible

Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

ESTHETIQUE

Faible

Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

POLITIQUEMENT UTILE

Faible

Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Qu'avez vous compris du message de la carte ?

Autres commentaires ?

S2C2



COMPLEXE

Difficile

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

DENSE EN INFORMATIONS

Faible

Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

INNOVANTE

Faible

Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

ESTHETIQUE

Faible

Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

POLITIQUEMENT UTILE

Faible

Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Qu'avez vous compris du message de la carte ?

Autres commentaires ?

S2C3



COMPLEXE

Faible Difficile

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

DENSE EN INFORMATIONS

Faible Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

INNOVANTE

Faible Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

ESTHETIQUE

Faible Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

POLITIQUEMENT UTILE

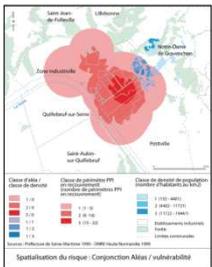
Faible Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Qu'avez vous compris du message de la carte ?

Autres commentaires ?

S3C1



COMPLEXE

Faible Difficile

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

DENSE EN INFORMATIONS

Faible Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

INNOVANTE

Faible Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

ESTHETIQUE

Faible Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

POLITIQUEMENT UTILE

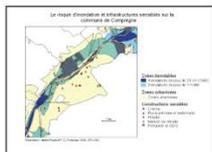
Faible Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Qu'avez vous compris du message de la carte ?

Autres commentaires ?

S3C2



COMPLEXE

Faible Difficile

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

DENSE EN INFORMATIONS

Faible Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

INNOVANTE

Faible Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

ESTHETIQUE

Faible Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

POLITIQUEMENT UTILE

Faible Fort

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Qu'avez vous compris du message de la carte ?

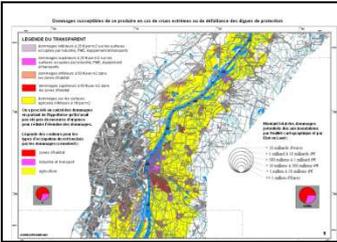
Autres commentaires ?

S3C3

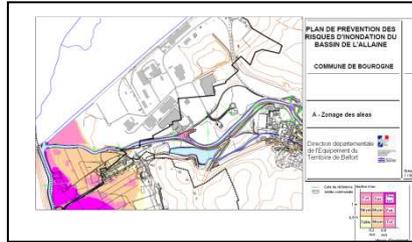
IV. Comparaison entre cartes de même thématique

IV.1. Parmi les cartes représentant des risques d'inondation, laquelle préférez-vous ?

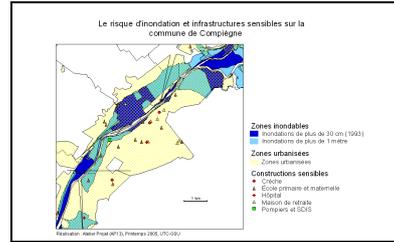
S2C1



S2C3



S3C3



Numéro :
 Pourquoi ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

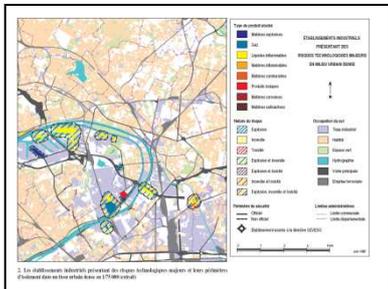
.....

.....

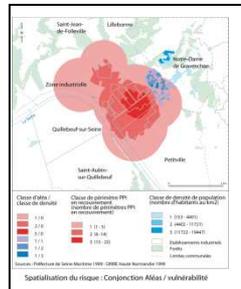
.....

IV.2. Parmi les cartes représentant des risques industriels, laquelle préférez-vous ?

S3C1



S3C2



Numéro :
 Pourquoi ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

V. Parmi les propositions suivantes, qu'attendez-vous le plus d'une carte du risque d'inondation ?

Etre informé du risque :

- Pour mon logement
- Pour mon lieu de travail
- Pour le lieu de « garde » (école, crèche, ...) de mes enfants
- Autres :

Etre informé pour évacuer de(s):

- Délais d'arrivée de l'eau
- Liste des endroits sécurisés (non inondés)
- Endroits de contact (avec les secours, les forces de l'ordre, les réseaux de communication en fonctionnement)
- Délais d'arrivée des secours
- Les routes fréquemment
 - Coupées
 - Accessibles (non inondés)
- Axes de circulation saturés
- Moyens alloués à l'évacuation (trains, bus,...)
- Autres :

Obtenir des informations précises sur :

- La fréquence des submersions (décennale, centennale...)
- L'étendue de l'inondation
- La hauteur de l'eau (1m, 2m...)
- L'historique des inondations antérieures
- La période de retour à la normale
- Autres :

TABLE DES FIGURES

Figure 1: Schéma d'organisation du travail et de la réponse à la problématique en fonction des angles d'approches de chacun des membres du binôme.....	15
Figure 2 : Carte initiale.....	41
Figure 3: Carte "idéale", après correction automatique des couleurs.....	41
Figure 4: Fonctionnement "en boucle" de l'aide à la conception des cartes offerte par le logiciel.....	42
Figure 5 : Un ordinateur permet, grâce à un logiciel de l'entreprise Metrovision, de sélectionner l'image à projeter et la durée de projection, et d'enregistrer les mouvements oculaires.	44
Figure 6 : La personne testée appuie son menton et son front de manière à maintenir la tête immobile.....	45
Figure 7 : Pièces principales du système d'acquisition du vidéo-oculographe.	45
Figure 8 : Méthode utilisée pour obtenir la discrétisation de l'échantillon.....	53
Figure 9 : Analyse spatiale des mouvements oculaires.....	56
Figure 10 : Analyse des mouvements oculaires par zones d'intérêt.....	57
Figure 11 : Création des zones d'intérêt pour la carte 4.....	57
Figure 12 : Analyse dynamique de la carte 2.	58
Figure 13 : Absence de co-variation entre la complexité d'une carte et son intérêt décisionnel.....	61
Figure 14 : Co-variation entre densité d'informations et complexité de la carte.	61
Figure 15 : Co-variation relative entre innovation, esthétique la carte et intérêt politique.	62
Figure 16 : Notation du critère « complexité » en fonction des cartes.....	63
Figure 17 : Notation du critère « densité » en fonction des cartes.	64
Figure 18 : Notation du critère « innovation » en fonction des cartes.....	64
Figure 19 : Notation du critère « esthétique » en fonction des cartes.....	65
Figure 20 : Notation du critère « intérêt politique » en fonction des cartes.	65
Figure 21 : Nombre moyen de fixations par carte.....	70
Figure 22 : Durée moyenne des fixations, par carte.....	70
Figure 23 : Nombre moyen de saccades, par carte.....	71
Figure 24 : Amplitude moyenne des fixations, par carte.....	72
Figure 25 : Nombre moyen de fixations, par groupe et par carte.....	73
Figure 26 : Durée moyenne des fixations, par groupe et carte.....	73
Figure 27 : Nombre moyen de saccades, par carte et groupe.....	74
Figure 28 : Amplitude moyenne des saccades, par carte et groupe.....	74
Figure 29 : Schéma de synthèse des parcours visuels issu de l'étude Era-Net CRUE 1.	76
Figure 30 : Analyse dynamique de la carte 2.	77
Figure 31 : Analyse spatiale de la carte 4.....	78
Figure 32 : Nombre de fixations sur la zone titre.....	78
Figure 33 : Exemple d'analyse spatiale où le titre n'est pas lu, carte 1.....	79
Figure 34 : Exemple de bonne lecture du titre, carte 9.....	79
Figure 35 : Durée des fixations dans la zone titre des cartes 1 et 8.....	79
Figure 36 : Durée des fixations dans la zone titre, par groupe.	80
Figure 37 : Analyse spatiale d'une lecture de légende, carte 7.	81
Figure 38 : Nombre de fixations dans la zone de légende, cartes 1, 3, 6, et 9.....	81
Figure 39 : Exemple de légende située en bas et non lue, carte 8.	82

Figure 40 : Exemple de légende située à droite et lue, carte 9.	82
Figure 41 : Analyse dynamique de la carte 7, différence d'attention portée aux légendes comprenant des couleurs vives, claires, ou des hachures.	83
Figure 42 : Zones d'analyse de la carte 7.	83
Figure 43 : Etude zonale de la carte 7, nombre de fixations.	84
Figure 44 : Etude zonale de la carte 7, durée totale des fixations.	84
Figure 45 : Analyse zonale de plusieurs légendes, par groupe.	85
Figure 46 : Exemple d'analyse spatiale de la carte 8 illustrant l'attractivité du texte. ...	86
Figure 47 : Analyse spatiale de la carte 2, illustration de l'influence du positionnement des éléments sur leur attractivité.	86
Figure 48 : Zonage de la carte 2.	87
Figure 49 : Analyse zonale de la carte 2, par groupe (durée de fixations).	87
Figure 50 : Analyse zonale de la carte 2, par groupe (nombre de fixations).	87
Figure 51 : Zones d'analyse de la carte 4.	88
Figure 52 : Analyse zonale de la carte 4, par groupe (nombre de fixations).	89
Figure 53 : Analyse zonale de la carte 4, par groupe (durée totale des fixations).	89
Figure 54 : Cas d'un sujet du groupe des concepteurs. On voit bien ici que le regard se porte sur les zones les plus colorées.	90
Figure 55 : Exemple d'analyse spatiale de la carte 9 illustrant l'attractivité de la couleur, suivant un axe diagonal.	90
Figure 56 : Analyse dynamique de la carte 5.	91
Figure 57 : Trois exemples d'analyse spatiale de la carte 5.	91
Figure 58 : Zones d'analyse de la carte 5.	92
Figure 59 : Analyse zonale de la carte 5, par groupe (nombre de fixations).	92
Figure 60 : Analyse zonale de la carte 5, par groupe (durée totale des fixations).	92
Figure 61 : Amplitude moyenne des saccades, par carte et par groupe.	93
Figure 62 : Analyse dynamique de la carte 1.	94
Figure 63 : Exemple d'analyse spatiale de la carte 1.	94
Figure 64 : La carte 4 présente très peu d'espace perdu entre les blocs de légende et la zone graphique.	95
Figure 65 : Analyse dynamique de la carte 4.	95
Figure 66 : Attentes des témoins en termes de cartes traitant du risque d'inondation. ...	99
Figure 67 : Schémas reprenant les recommandations propres aux « témoins » (en haut) et aux « concepteurs » (en bas).	102

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : répartition des tâches au sein du binôme.	17
Tableau 2 : Tableau de synthèse des acteurs et documents liés au risque d'inondation.	29
Tableau 3 : Tableau de synthèse des différents éléments à tester pour les 9 cartes	48
Tableau 4 : Tableau de synthèse des résultats aux questions II.1, II.2 et II.3	52
Tableau 5 : Tableau de synthèse des réponses de la partie 3 du questionnaire	60
Tableau 6 : Coefficients de corrélation entre les différents critères du tableau 6.....	60
Tableau 7 : Tableau de synthèse des réponses de la partie 3 du questionnaire	62
Tableau 8 Tableau de synthèse : préférence des cartes en fonction du type de destinataires.....	66
Tableau 9 : cumuls des notes par groupe et par carte, tous critères confondus.....	66
Tableau 10 : classement des cartes par groupes, d'après le cumul précédent.	67
Tableau 11 : classement des cartes, tous groupes et tous critères confondus, par cumul des rangs du tableau précédent.	67
Tableau 12 Tableau de synthèse : préférence des cartes en fonction du type de destinataires.....	69
Tableau 13 : Position du titre sur les cartes 1, 3, 6, 8, et 9.	78
Tableau 14 : Quelques attentes des « témoins » en termes de cartographie.....	98
Tableau 15 : Quelques attentes des « concepteurs » en termes de cartographie.	100
Tableau 16 : Quelques attentes des « utilisateurs réguliers » en termes de cartographie.	101

TABLE DES MATIERES

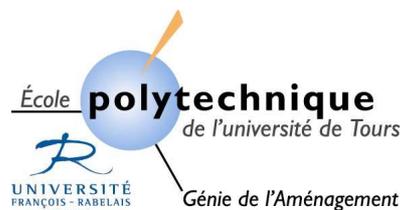
Avertissement.....	5
Formation par la recherche et projet de fin d'études	6
Remerciements	7
Avant-propos	11
Introduction générale.....	13
Organisation du travail en binôme	15
Cadre de l'étude.....	18
Partie 1 Les cartes dans la gestion du risque d'inondation : entre outil de communication et document règlementaire.....	20
A. Les acteurs de la gestion du risque d'inondation et leur rapport aux cartes	21
1. Les documents règlementaires	21
a) Outil de maîtrise de l'urbanisation en zone inondable : le PPRI	21
b) Le Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM)	22
c) Outil de gestion de crise : le Plan Communal de Sauvegarde (PCS)	23
d) Le Dossier Départemental sur les Risques Majeurs (DDRM).....	24
2. Les acteurs règlementaires	25
a) L'Etat	25
b) Le maire.....	26
c) Les riverains des cours d'eau	27
3. D'autres acteurs sont concernés directement par le risque d'inondation	28
a) Les Etablissements Publics Territoriaux de Bassin.....	28
b) Les collectivités territoriales.....	28
c) La cellule d'analyse des risques et d'information préventive (CARIP)	28
B. Les cartes dans la directive "relative à l'évaluation et à la gestion des inondations" du 26 novembre 2007.....	30
a) La Directive 2007/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation	32
Constatations préliminaires	32
Chapitre II : évaluation préliminaire des risques d'inondation	33
Chapitre III : cartes des zones inondables et cartes des risques d'inondation	34
Chapitre V : coordination avec la directive 2000/60/CE, information et consultation du public	36
Chapitre VIII : réexamens, rapports et dispositions finales.....	36
Partie 2 Vers une amélioration des cartes : la sémiologie graphique expérimentale.....	38
A. Les limites de la sémiologie classique.....	39
1. Modèle linéaire / Modèle de la sémiologie graphique expérimental.....	39

2. Exemple de travail en sémiologie graphique expérimentale : travaux d'Elisabeth Chesneau sur l'amélioration automatique des couleurs, appliqués aux cartes de risques.....	40
B. L'oculométrie	42
1. Les utilisations de l'oculométrie : exemple de la mesure de l'Efficacité de la Visuo-Attention	42
2. Matériel utilisé : le vidéo-oculographe.....	43
3. Mouvements oculaires : saccades, fixations et poursuites	46
Partie 3 Protocole, résultats et interprétations	47
A. Protocole expérimental.....	48
1. Le choix des cartes	48
2. Le questionnaire de l'enquête cognitive (cf. annexes n°2).....	50
3. Le choix des sujets testés et leur typologie	51
4. Les enregistrements.....	54
a) Les contraintes et la nécessité d'effectuer un pré test.....	54
b) Le déroulement des séances d'enregistrements au sein du service ophtalmologique de l'hôpital.....	55
5. L'extraction des données.....	56
a) Données et analyses spatiales des mouvements oculaires	56
b) Données et analyses par zones d'intérêt.....	56
c) Données et analyses dynamiques des mouvements oculaires	58
B. Résultats et interprétations	58
Introduction	58
1. Des besoins différents en fonction du type de destinataires	59
a) Exploitation de l'enquête cognitive.....	59
b) Analyse statistique des mouvements oculaires.....	68
Etude des fixations, par carte.....	70
Etude des saccades, par carte.....	71
Analyse des fixations, par carte et par groupe.....	73
Analyse des saccades, par carte et par groupe.....	74
2. Analyse des mouvements oculaires : quels sont les stratégies visuelles des sujets?.....	75
a) Introduction : Quels éléments sont les plus regardés ?.....	76
b) Le titre : premier élément important.....	77
La position et taille du titre du titre :	78
Différentes stratégies en fonction du type de destinataire	80
c) La légende : entre position et complexité.....	80
La position de la légende :	81
La composition de la légende :	82
Différentes stratégies en fonction du type de destinataire :	85
d) Les éléments de la carte.....	85
Attrance du texte	85

Rôle du positionnement des éléments	86
Rôle de la couleur :	89
e) Le fond	90
f) Eloignement des éléments	93
C. Recommandations en matière de cartographie	96
1. Recommandations générales	96
2. Une carte pour chaque destinataire.....	98
Attentes des témoins en termes de cartographie.....	98
Attentes des concepteurs en termes de cartographie	99
Attentes des utilisateurs réguliers en termes de cartographie.....	101
Conclusion générale	102
1. Schémas de synthèse des recommandations.....	102
2. Critique du travail effectué.....	103
Références Bibliographiques.....	104
Annexes	107
Annexes n°1 : Les cartes testées.....	107
Annexes n°2 : Le questionnaire.....	112
Table des figures	118
Table des tableaux	120

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

GENELOT Emilie
Projet de Fin d'Etudes
DA5
2008-2009

Titre : Sémiologie graphique expérimentale pour une cartographie efficace du risque d'inondation

Résumé :

La fabrication d'une carte implique le respect de règles sémiologiques établies par la sémiologie graphique classique. Or, lors de l'élaboration de ces règles, les caractéristiques propres au futur lecteur, telles que sa culture des cartes ou même sa connaissance du sujet traité, sont rarement prises en compte.

D'autre part, la gestion du risque d'inondation demande l'implication d'acteurs très différents en termes de maîtrise scientifique, économique, ou politique de ce risque, ainsi qu'un recours fréquent aux cartes.

Il est donc nécessaire, afin d'améliorer l'efficacité des cartes traitant du risque d'inondation, de prendre en compte les besoins et les capacités en matière de lecture de cartes des acteurs concernés ou vulnérables, directement ou indirectement.

C'est dans cet objectif que ce PFE a recours à la sémiologie graphique expérimentale, qu'il mène des expérimentations portant sur l'étude des mouvements oculaires. L'analyse des résultats montre que tous les destinataires des cartes ne les perçoivent pas de la même façon. Les données qualitatives et quantitatives obtenues permettent donc de proposer des recommandations permettant d'améliorer des cartes respectant par ailleurs les règles de la sémiologie classique, de les adapter à leurs lecteurs.

Mots clés +mots géographiques

Sémiologie graphique expérimentale, sémiologie graphique classique, risque d'inondation, acteurs, documents règlementaires, cartes d'aléa, de vulnérabilité, d'enjeux, directive européenne « inondation », vidéo-oculographe, perception visuelle et cognitive.