

MODELISATION DES DEPLACEMENTS DES VISITEURS SUR LES ESPACES NATURELS

EVALUATION DES IMPACTS POTENTIELS D'UN PROJET D'AMENAGEMENT

Fabrice Decoupigny (MCF) : UMR ESPACE 6012 - Equipe de Nice, axe « Dynamiques Territoriales », Université NICE - Sophia Antipolis.

Email : decoupig@unice.fr

RÉSUMÉ.. Un constat rapide des déplacements de visiteurs sur les espaces naturels montre que les lieux, dits touristiques, sont de plus en plus fréquentés par des populations locales et en particulier les urbains. Un des problèmes majeurs relève du fait que ces flux de visiteurs ne sont pas intégrés dans les études classiques construites sur des indicateurs purement touristiques (nombre de nuitées, fonction touristique...). A partir de différentes observations effectuées aux cours d'études de fréquentations, nous avons pu mettre au point un modèle de simulation des déplacements de visiteurs sur un espace naturel régional (modèle FRED). La difficulté du modèle consiste à formaliser deux déplacements sur deux échelles : le déplacement voiture puis le déplacement pédestre.

ABSTRACT : A fast report of recreational trip on natural spaces shows that the tourist sites are attended more and more by local populations and in particular the urban ones. One of the major problems raises owing to the fact that these flows of visitors are not integrated in the traditional studies built on purely tourist indicators (a number of nights, tourist function...). From various observations carried out with the courses of studies of frequentations, we could develop a model of simulation of displacements of visitors on a regional natural space (FRED model). The difficulty of the model consists in formalizing two displacements out of two scales: displacement conveys then pedestrian displacement.

MOTS CLEFS : Modélisation, déplacements, espace naturel.

KEY WORDS :Modélisation, recreation trip, natural space

L'objectif de ce travail est de définir les processus *d'accès* et de *diffusion* des *visiteurs* sur les *espaces naturels* afin de construire un *modèle* dont le but est de *simuler* les répartitions probables des visiteurs et d'offrir un outil global de mesure et de suivi des évolutions quantitatives et qualitatives des déplacements et des fréquentations sur les espaces naturels, un outil destiné à l'aménageur. La démarche s'attache principalement à la détermination des processus de déplacements et de fréquentations sur les espaces naturels afin de construire un modèle de simulation cartographique d'accès et de diffusion des visiteurs sur les espaces naturels (logiciel FRED : FRéquentation Et Déplacement¹).

Il faut bien avouer, qu'en matière d'aménagement et de gestion environnementale des espaces naturels, nous ne possédons pas de réelles informations sur les formes de pratiques récréatives. Dans ces conditions, comment peut-on évaluer les coûts des impacts écologiques si nous ne possédons pas d'information sur la localisation et le nombre réel et potentiel de visiteurs sur les sites naturels ? Comment une collectivité peut-elle prévoir un programme pluriannuel d'investissement, si elle ne connaît pas le nombre de visiteurs susceptibles de visiter tel ou tel site ? D'une manière toute pragmatique, si l'on veut ouvrir un site à la fréquentation, combien de place de parkings doit-on prévoir : 25, 50 ou 100 ? Le prix d'une place peut aller du simple au quadruple pour peu que l'on veuille faire un parking plus ou moins "paysager" et intégré au site.

Pour évaluer les déplacements sur les espaces naturels, nous avons intégré une double échelle des déplacements en fonction des comportements liés aux trois facteurs de la fréquentation d'un site : une nature protégée qui offre un dépaysement, une nature aménagée et sécurisée et une accessibilité pédestre des curiosités naturelles. Cette double dimension est dépendante de deux processus de déplacement : un déplacement voiture sur un réseau d'accueil de sites puis un ou plusieurs déplacements pédestres sur des sites naturels.

Sur la base d'une étude de terrain effectuée sur le Parc Naturel Régional des Ballons des Vosges durant l'année 1996, nous avons alors procédé à la classification des populations de visiteurs en fonction des types de diffusions spatiales sur les espaces naturels qui nous a permis d'obtenir trois groupes d'individus : les contemplatifs, promeneurs et randonneurs segmentés en fonction de comportements qui apparaissent communs à tous types de visiteurs : le déplacement pédestre. Nous avons ainsi réussi à déterminer, avec précision, des comportements de promenade, au départ des parkings, bornés dans des aires radioconcentriques de 500, 1000 et 3000 mètres, respectivement pour les contemplatifs, les promeneurs et les randonneurs.

Nous avons ainsi pu mettre en évidence que les processus de déplacements relatifs à l'accès et à la diffusion sur les espaces naturels s'organisaient autour de trois éléments en interaction : le visiteur, le lieu ou le site et le réseau.

1 Un modèle sur deux échelles

Le modèle FRED est décomposé en deux modules et répond à des objectifs précis qui correspondent à des méthodes spécifiques de modélisation : le premier modélise l'accès et la répartition des visiteurs sur un réseau d'accueil de site faisant suite à un déplacement voiture, le second modélise la diffusion pédestre sur les milieux naturels. Après une rapide présentation du premier module (calcul des répartitions sur les parkings), le présent travail n'exposera que le second module, à savoir le module de simulation des impacts des cheminements pédestres sur les milieux naturels.

1.1 Premier module de calcul : un modèle gravitaire d'accès et de répartition sur le réseau d'accueil d'un territoire

A partir de l'utilisation de la théorie des graphes et des travaux antérieurs du laboratoire du CESA sur l'utilisation de cette théorie concernant les transports, la construction de ce module s'appuie sur l'architecture d'un modèle gravitaire, qui définit, pour chacun des types de visiteur, les attractions des différents parkings ouvrant sur des sites naturels. Ces attractions sont calculées en fonction de la valeur du site ("offre spatiale naturelle") et des interactions produites avec les sites voisins. Le modèle FRED calcule alors, à partir des accessibilités à un point de départ du déplacement (une "ville porte"), la probabilité que possède un parking de fixer les quantités différenciées de visiteurs (contemplatifs, promeneurs et randonneurs). Le principe de la modélisation consiste à calculer pour chacun des types de visiteurs, contemplatifs, promeneurs et randonneurs leurs probabilités de répartition sur le graphe.

En résumé, nous considérons qu'un site possède une offre d'activités relative qui lui est donnée par sa structure interne (nombre de curiosités naturelles, niveau d'aménagement) et qui sera plus ou moins attractive selon sa position dans le réseau.

¹ Modèle développé au cours de ma thèse effectuée au laboratoire du CESA de l'université de Tours.

Nous avons ainsi pu mettre en évidence plusieurs type de déplacements soumis à des phénomènes de seuils. Un premier déplacement d'accessibilité oscillant entre trois quart et une heure puis un second déplacement de redistribution sur le réseau d'accueil. Les résultats des différentes simulations sont traitées sous la forme cartographique. Ces résultats donnent pour midi un volume de 1580 véhicules en stationnement sur l'ensemble des parkings du massif et 2080 aux heures de pointes de l'après-midi. Ces chiffres représentent environ entre 4000 et 5200 visiteurs à la journée (cf. carte Annexe 1).

1.2 Second module : un modèle de diffusion pédestre

Le second module modélise les cheminements des visiteurs sur les milieux naturels. Il s'agit dans ce cas, à partir d'une programmation d'un automate cellulaire, de calculer les déplacements pédestres des individus lors de leur promenade sur les sites naturels. L'objectif de cette programmation est de nous doter d'un outil qui nous permette d'évaluer les pressions potentielles des déplacements des visiteurs en simulant les cheminements sur les milieux naturels.

1.2.1 Principe de la modélisation

La modélisation des déplacements pédestres consiste à créer un automate cellulaire pour simuler les cheminements pédestres sur un graphe sous contrainte de pénibilité liée aux conditions géomorphologiques.

On crée un Modèle Numérique de Terrain (MNT) sur lequel on définit un espace praticable formé de nœuds accessibles ou pas, en fonction de la pente et des caractéristiques géomorphologiques. Ensuite nous calculons par un automate cellulaire tous les chemins pouvant exister entre les parkings et les curiosités naturelles en fonction d'une double contrainte, la distance et la pénibilité de la pente. Deux hypothèses de cheminement sont programmées soit au plus court soit au plus facile. On obtient ainsi un graphe potentiel, appelé le graphe sentier, de cheminements possibles dont on enregistre les nœuds (respectivement les arcs) sur un fichier "Nœuds" (respectivement un fichier "Arcs").

Le graphe sentier va servir de base pour calculer les impacts des déplacements des différents types de visiteurs sur les sites naturels. Nous allons, pour les deux graphes sentiers ("*Plus Court*" et "*Plus Facile*") appliquer l'algorithme "Floyd" de recherche des chemins minimaux. Le fait d'avoir différencié les déplacements aller et retour et la pénibilité des arcs permet d'avoir un cheminement retour dissymétrique par rapport à l'aller.

L'objectif du calcul des chemins optimaux sur les graphes sentiers consiste à calculer les déplacements origine - destination entre les différents points remarquables (parkings, sites naturels) et de distinguer les arcs susceptibles d'être les plus utilisés pour se rendre d'un nœud à un autre sous contrainte de minimisation de la distance parcourue en fonction des deux types de comportements de déplacements sur l'espace naturel, un trajet soit au "*Plus Court*" soit au "*Plus Facile*".

Ensuite, à partir d'un temps de déplacement maximum qui correspond aux distances des aires de diffusion de 500, 1000 et 3000 mètres, on va calculer le nombre de fois qu'un arc du graphe sentier est utilisé lors d'un déplacement qui a pour origine un parking (ou point d'entrée) et pour destination un point "d'arrêt" (ou curiosité naturelle, ou un site naturel).

Le déplacement est pris en compte si et seulement si le site peut être atteint dans le temps imparti. On reprend ici l'hypothèse qu'un déplacement dans une aire de diffusion implique obligatoirement un temps de présence minimum sur le site naturel. Les impacts des cheminements seront donnés par les fréquences d'utilisation des arcs sur le graphe chaque fois qu'il y a déplacement d'un point à un autre. Si les probabilités de fixation sur les parkings sont intégrées sous la forme d'un poids de flux pédestres entrants par un parking, nous ne procédons pas à des calculs de probabilités de fréquentations des sentiers.

Les résultats ne donnent que des impacts potentiels sur l'espace indifféremment des choix de direction qui peuvent s'opérer sur le milieu naturel. C'est-à-dire qu'au départ d'un parking, nous calculons seulement le nombre de fois qu'un arc est utilisé après que tous les itinéraires ont été calculés.

Trois types d'itinéraire sont pris en compte : les déplacements d'accessibilité des parkings aux sites naturels (ou déplacements aller), les déplacements de promenade (ou de circulation) entre les sites naturels, les déplacements retour des sites naturels aux parkings. Les deux hypothèses de déplacements (au "*Plus Facile*" et au "*Plus Court*") associés aux seuils de déplacements dans les aires de diffusion nous permettront d'émettre des hypothèses sur les formes de circulation des visiteurs sur les milieux naturels. De ce fait nous pourrons voir si les impacts engendrés par les déplacements correspondent à des promenades en aller et retour ou en boucle.

1.2.2 Des impacts différenciés

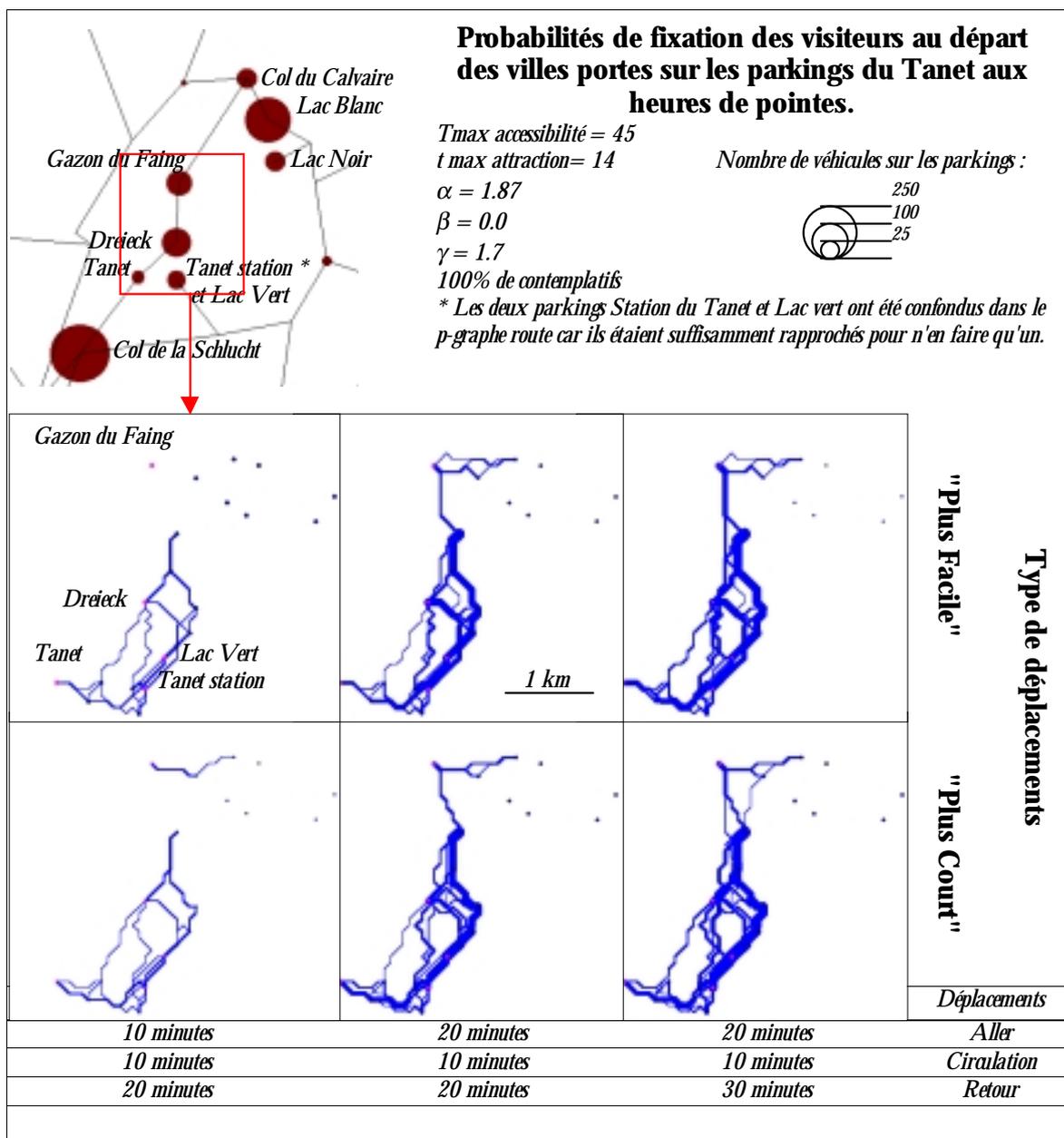
À partir des résultats obtenus des simulations sur les probabilités de fixation des flux routiers sur les parkings du réseau d'accueil des Hautes Vosges (territoire du Parc Naturel Régional des Ballons des Vosges), nous calculons

les impacts engendrés sur une réserve naturelle, située sur la ligne de crêtes du massif (Tanet et Gazon du Faing) en tenant compte du poids des flux entrants sur le site naturel.

Tableau 1: Résultats de la simulation des probabilités de répartition aux heures de pointes sur les parkings ouvrant sur la réserve naturelle du Tanet - Gazon du Faing

Nom du parking	Tanet et Gazon du Faing	Dreieck	Tanet	Station du Tanet	Tanet Lac Vert
Nombre de véhicules	50	70	15	35	20

Figure 1 : Simulations des pressions anthropiques sur la réserve naturelle du Tanet, après le calcul des probabilités de répartition des visiteurs sur les parkings.



Il faut noter que notre modèle ne prend pas en compte le substrat pédologique, la couverture végétale, les précipitations et bien d'autres facteurs qui accentuent ou qui limitent par défaut les impacts occasionnés. Bien qu'il soit limité pour évaluer la localisation des impacts sur un espace naturel, il est tout à fait satisfaisant pour

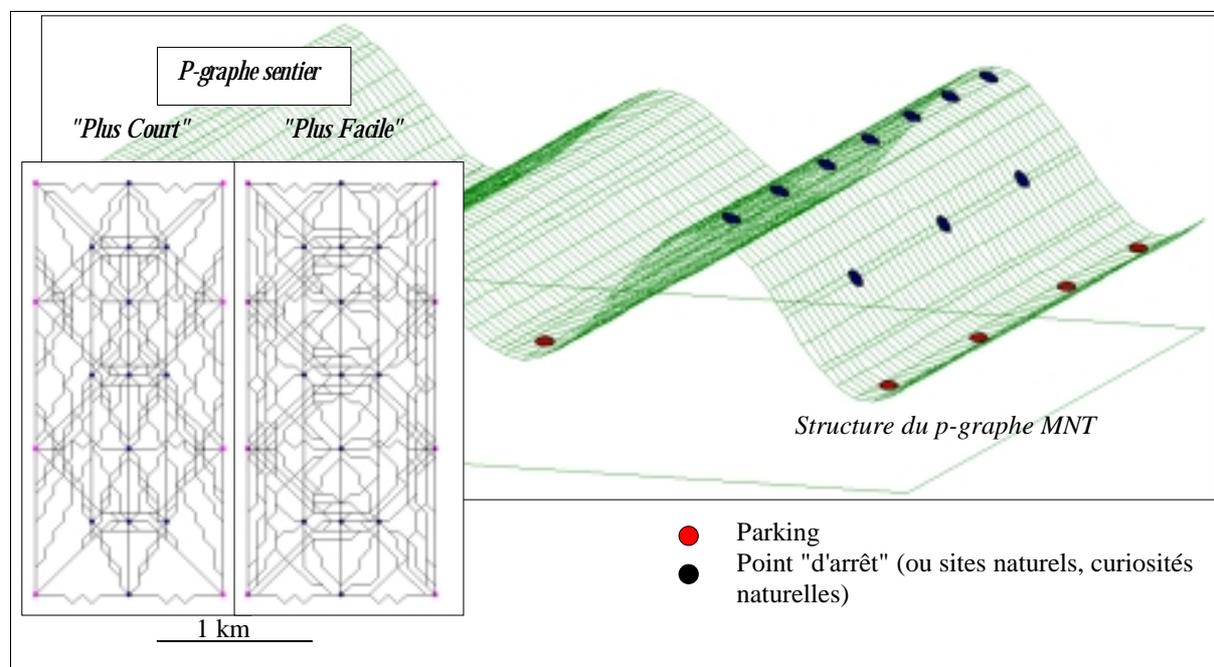
déterminer des impacts probables. Ces résultats traduisent une notion liée à la pression anthropique, les principaux impacts étant causés par un afflux de visiteurs plus ou moins concentrés dans l'espace.

Afin de vérifier si les résultats obtenus sur l'espace du Tanet relèvent de caractéristiques spécifiques dues à des conditions locales (géomorphologie, localisation des parkings...) ou bien à des conditions d'ordre plus général, nous avons simulé les déplacements sur un espace théorique dans les mêmes conditions que les Vosges

Pour cela nous avons créé un espace théorique vallonné (cf. Figure 2) qui modélise un relief de moyenne montagne dont les altitudes oscillent entre 600 et 1400 mètres puis nous en avons déduit sur deux graphes sentier : "*Plus Court*" et "*Plus Facile*". La répartition des parkings (magenta ou rouge) et des curiosités naturelles (bleu) est homogène sur l'espace mais un peu différente de celle des Vosges. Nous n'avons pas placé de parkings au sommet, le long de la ligne de crêtes.

En effet, les concentrations de cheminements le long du linéaire sur les crêtes des Vosges peuvent être dues à une localisation des parkings au sommet. Nous avons donc préféré ne pas respecter cette particularité spatiale afin de voir si les déplacements répondaient plus à une localisation des sites naturels qu'à une localisation spécifique des parkings. Par contre, nous avons respecté une certaine accessibilité des curiosités naturelles aux parkings. Tous les nœuds "arrêts" (bleu) sont accessibles d'un parking à moins de 1000 mètres et se situent sur un couloir au sommet et sur les versants du massif, comme c'est le cas sur l'espace du Tanet.

Figure 2 : Structure de l'espace théorique de diffusion pédestre



1.2.3 Rôle joué par la structure du réseau

Nous pouvons constater que les simulations des déplacements donnent des résultats différents de ceux obtenus sur les Vosges (cf. Figure 3). Les résultats sont moins marqués sur l'espace théorique. En fonction du type de contrainte des déplacements ("*Plus Facile*" et "*Plus Court*"), les impacts ne seront pas de même nature, soit une pression le long d'un linéaire² soit une multiplication des sentiers³.

La principale différence provient des simulations de l'hypothèse de déplacement répondant à la contrainte au "*Plus Facile*". Sur les Vosges, nous avons des déplacements qui se concentrent sur des cheminements le long de sentiers, alors que sur l'espace théorique, nous sommes en présence de déplacements de type extensif qui multiplient les sentiers (cf. Simulation pour un déplacement de 60 minutes).

Les différences entre les deux hypothèses de déplacements sont bien plus marquées sur l'espace théorique. Contrairement aux Vosges, les impacts induits sont inversés, pour des déplacements au "*Plus Facile*" (respectivement au "*Plus Court*"), nous avons des types d'impacts qui tendraient à la multiplication spontanée de sentiers (respectivement à l'élargissement de sentier). C'est l'effet d'homogénéité de la position des nœuds sur

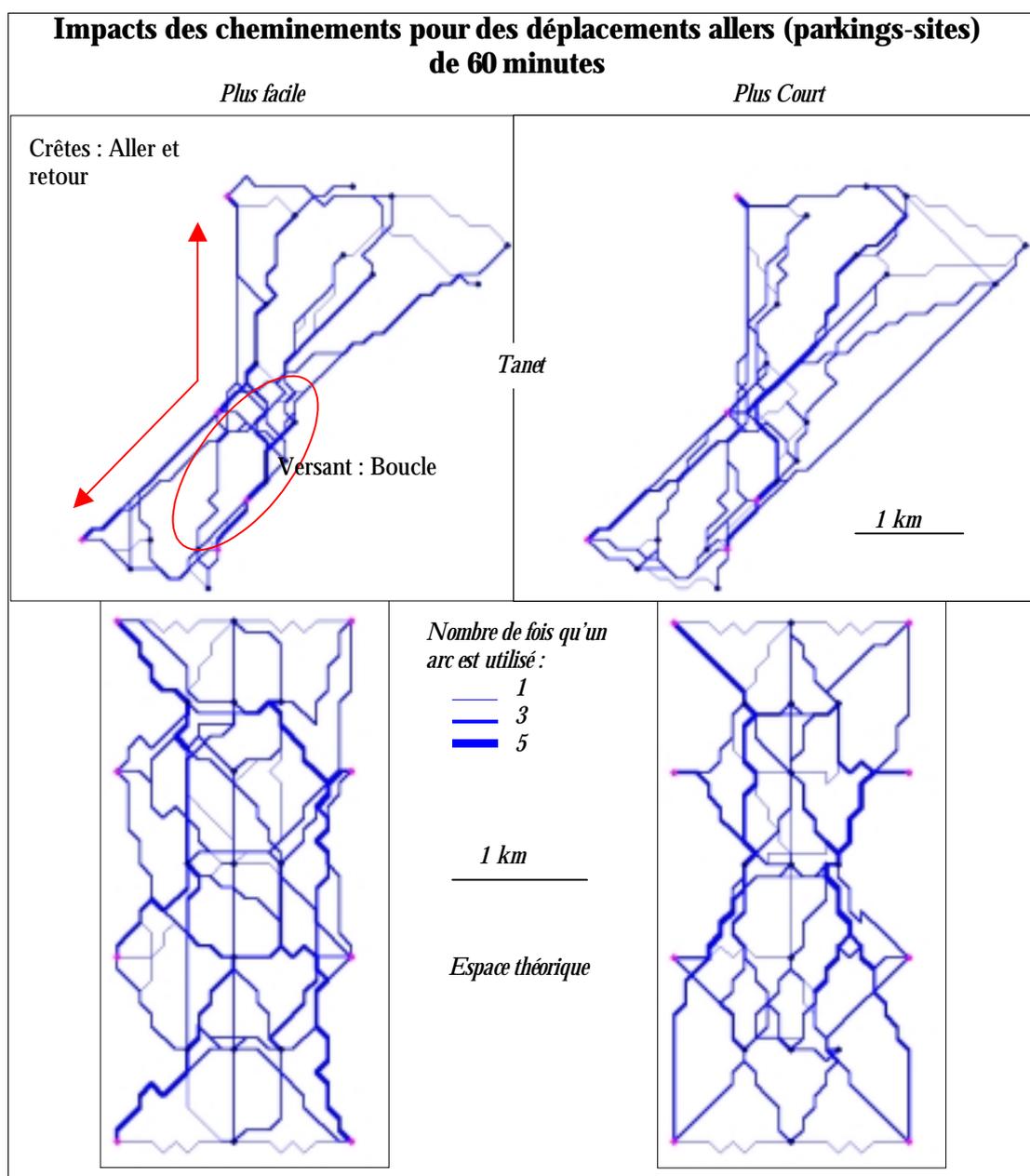
² Cheminements engendrant des impacts de type élargissement de sentiers.

³ Cheminements engendrant des impacts de type coupure de lacets, dédoublement de sentiers, etc.

l'espace et non le substrat pédologique ni la couverture générale qui seraient responsable, sur les Vosges, des cheminements.

Que signifie alors ces deux résultats contraires ? Nous pouvons penser dans un premier temps que la géomorphologie des lieux implique des déplacements différents. Pourtant, les simulations sur l'espace théorique auraient dû donner des résultats similaires aux Vosges puisque nous avons pris le soin de le créer avec les mêmes caractéristiques physiques. Il faut donc aller chercher la réponse ailleurs. Si ce n'est pas uniquement le relief qui induit des types d'impacts, nous pouvons considérer que la structure d'accueil peut jouer un rôle dans les formes de diffusion sur les espaces naturels.

Figure 3 : Détails des simulations des déplacements obtenues entre le Tanet et l'espace théorique



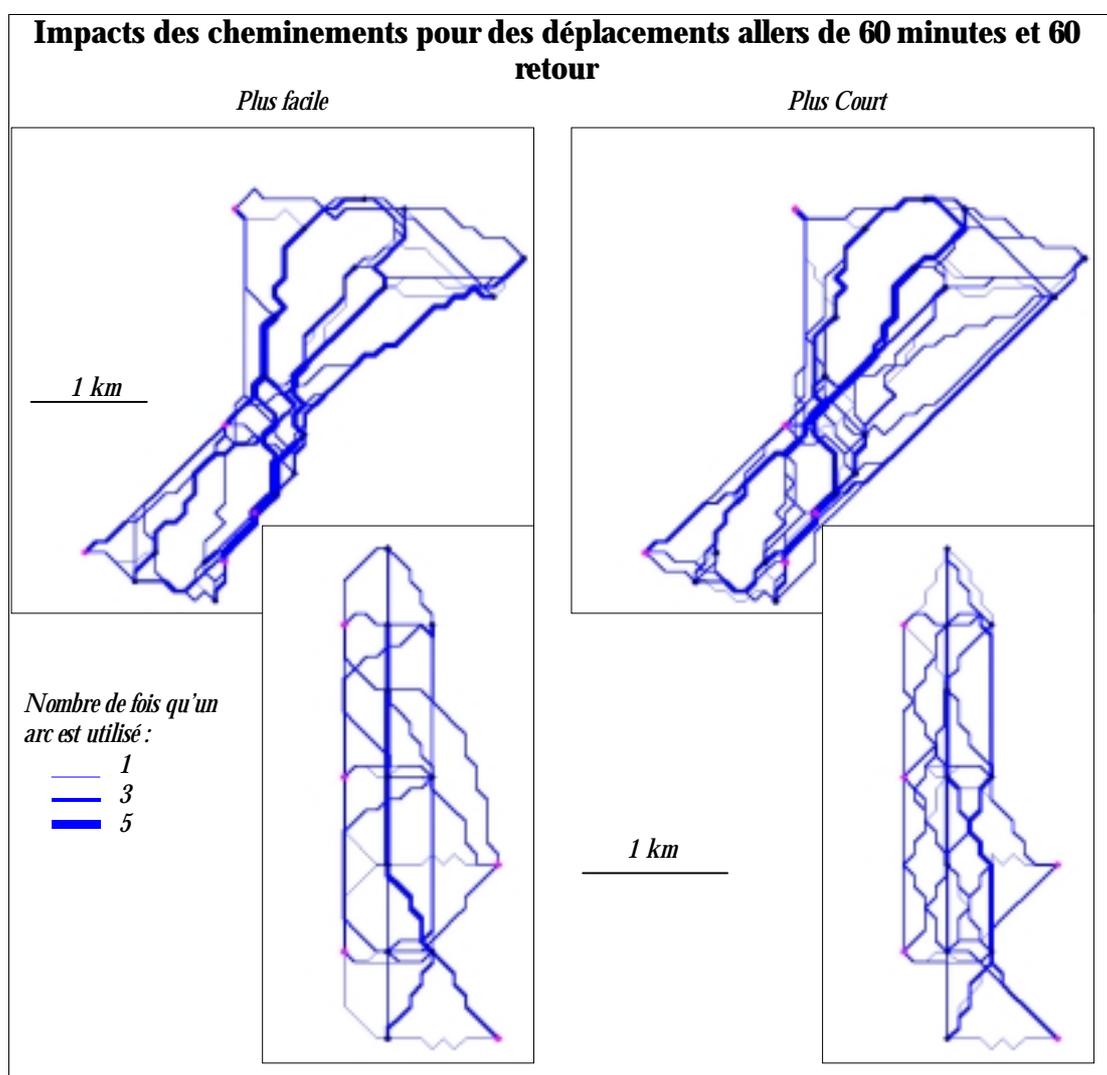
Les simulations, sur l'espace théorique (cf. Figure 4), reprennent les spécificités de l'espace Tanet. Nous avons localisé des parkings à mi-pente et supprimé quelques-uns afin d'obtenir un espace structuré de façon analogue à celui des Vosges avec le même nombre de parkings⁴. De cette manière il devient possible de comparer les deux espaces de simulation.

⁴ Nous n'avons gardé que deux parkings en versant est et trois parkings à mi pente sur le versant ouest, soit cinq parkings au lieu de huit.

Nous obtenons alors des résultats totalement différents des premières simulations (cf. Figure 4) et qui correspondent à ceux que nous avons obtenus sur les Vosges. Sur ces derniers, on constate que le nombre de cheminements est d'autant plus dense qu'il existe un certain nombre de sites naturels et de points d'entrée sur le réseau. Au Sud sur le secteur du Lac Vert, quatre parkings desservent les sites naturels et engendrent une multiplication de cheminements orientés sur un axe nord – sud.

Bien que l'espace théorique soit plus dense en sites naturels, nous observons les mêmes types de cheminements que sur les Vosges avec une concentration linéaire des cheminements sur le graphe sentier "*Plus Facile*", et une multiplication des cheminements accompagnée d'un axe de circulation pédestre nord - sud sur les versants du graphe sentier "*Plus Court*". Cet axe apparaît aussi sur les Vosges. Ces simulations montrent que l'espace se différencie non pas uniquement en fonction des types de consommation de l'espace et du relief mais aussi en fonction de la structure d'accueil et de l'accessibilité au massif. Ces résultats sont fondamentaux. Nous rappelons qu'une des observations faite lors de l'étude de fréquentations sur les Hautes Vosges tendait à dire que la fréquentation sur le massif dépendait du nombre de parkings et non pas du nombre de places. C'est-à-dire que la pression de la diffusion des visiteurs sur les espaces naturels dépendait du nombre de points d'accessibilité plus que de la capacité de charges des parkings.

Figure 4 : Impacts des déplacements sur un graphe théorique reprenant les spécificités de l'espace Tanet



Le modèle montre que les impacts dépendent pour une large part aussi de la structure de l'accueil sur les espaces naturels. Le nombre de parkings et leur localisation peuvent jouer un rôle déterminant dans les formes d'impacts de la pression anthropique. En fonction de la structure du réseau, du type de déplacement, et de la géomorphologie des lieux, les impacts peuvent prendre des formes différentes. On retrouve, ici, nos trois éléments en interaction, le lieu, le réseau et le visiteur. Non seulement ils jouent un rôle prépondérant sur les déplacements voiture et le choix du site à visiter, mais il semble également que cela soit le cas pour les déplacements pédestres sur les milieux naturels.

En matière d'aménagement du territoire et de protection des milieux naturels, les opérations et les techniques de gestion peuvent être totalement différentes d'un espace à l'autre. Pour agir sur l'espace, il faudra tenir compte de ces trois éléments en interaction : l'accès, le type de diffusion des visiteurs et le relief.

2 Simulation d'un aménagement accompagnant la fermeture de la route des crêtes

Afin d'illustrer les utilisations du modèle FRED en aménagement du territoire, nous allons tester le modèle sur un aménagement jugé sensible : la fermeture de la Route des Crêtes sur le Massif des Hautes Vosges.

L'exemple choisi porte sur un problème épineux. Un débat récurrent, au parc des Ballons des Vosges, portait sur le fait que cette route était le principal vecteur de pression touristique puisqu'elle fournissait une très bonne accessibilité aux sites naturels. En la fermant, on réduirait alors obligatoirement la fréquentation et les visiteurs iraient ailleurs sur des espaces périphériques.

On se pose ici la question suivante : quel serait l'impact de la fermeture partielle de la route des crêtes sur les répartitions des visiteurs. L'objectif de cette application sera d'étudier, sur la répartition des flux de visiteurs, l'impact de la transformation du réseau, suite à un projet qui teste deux partis d'aménagement, le premier une simple fermeture de la route des crêtes et le second des actions d'accompagnement en parallèle de la fermeture (ouverture de route, création, fermeture et valorisation de sites : cf. cartographie des partis d'aménagement en Annexe 2).

Nous avons, dans le cas d'une simple fermeture de la route des crêtes un espace qui se découpe en secteurs bien déterminés, avec une concentration des visites sur les sites les plus attractifs. Les différents aménagements ne changent pas cette organisation, mais déconcentrent les pressions sur des sites périphériques (Petit Ballon et sites sur les versants). On voit apparaître plus de visiteurs sur des sites qui jusque là recevaient une fréquentation résiduelle. L'émergence de ces sites servirait alors de base de développement d'un schéma d'aménagement élargi sur la valorisation de nouveaux secteurs en périphérie des crêtes : la mise en place d'un schéma d'aménagement touristique et de loisirs.

La principale observation, relative à la fermeture de la route des crêtes, porte sur l'efficacité d'une mesure qui vise à limiter l'accessibilité. Limiter les relations entre les sites sans prévoir des sites de délestage ne résout en rien les problèmes de pressions touristiques. Les simulations de la coupure (Annexe 3) laissent apparaître que la route des crêtes incite à la concentration sur les sites restés accessibles sur les Crêtes. On peut constater (Annexe 3, carte a) qu'il n'y a pas eu ou peu de délestage. Les simulations montrent, au contraire, que la pression s'est accrue sur les sites des crêtes restés accessibles, augmentant ainsi les risques de nuisances. La fermeture de la route ne change pas fondamentalement les répartitions, même si elle déleste une partie de la fréquentation sur des sites périphériques comme le Petit Ballon et certaines stations sur les pentes Est des versants des crêtes (cf Annexe 4).

Le nombre de visiteurs est constant. Il n'est donc pas étonnant d'observer que les sites récupèrent sur leur parking des individus qui se rabattent sur les sites restés ouverts à la fréquentation. En aménagement, ce type d'observation montre que le phénomène de répartition est beaucoup plus complexe que l'on ne pense. Malgré des mesures coercitives, les visiteurs se sont déplacés sur les sites accessibles les plus proches des secteurs qui ont été fermés et ne se sont pas rabattus sur les sites périphériques.

Les différences de répartition sur les espaces naturels indiquent que l'on risque de connaître des concentrations de visiteurs sur les curiosités naturelles restées accessibles à partir des parkings de la route des crêtes qui n'ont pas été fermés ainsi qu'une concentration sur les sites localisés sur les versants des crêtes (Gaschney, Tanet-Lac Vert, Lac Noir).

Dans le cas des Hautes Vosges, il semblerait que le délestage des pressions sur des sites peu fréquentés passerait par l'ouverture du réseau (aménagements de routes plus rapides, transformations de pistes forestières en routes...) afin d'offrir une mobilité plus grande. Le réseau actuel, de type linéaire et semi arborescent, limite considérablement les choix des circuits touristiques en orientant les flux sur les mêmes circuits donc sur les mêmes sites.

2.1 Cheminements après la fermeture de la route des crêtes

Pour mener à bien les simulations de l'impact de la fermeture de la route des crêtes avec ou sans aménagements d'accompagnement, nous recalculons les graphes associés à chacun des deux types d'opérations. Nous obtenons ainsi pour les deux hypothèses d'aménagement (la fermeture de la route des crêtes sans aménagements d'accompagnement et avec), les deux graphes sentiers "*Plus Facile*" et "*Plus Court*".

Maintenant, nous allons calculer les impacts de ces aménagements sur la répartition des flux pédestres sur les milieux naturels. Pour cela, nous n'allons pas tenir compte du poids des flux entrants sur les parkings. Nous nous

intéressons uniquement aux cheminements potentiels qui seraient fréquentés si les parkings de la route des crêtes venaient à disparaître.

On peut distinguer deux espaces de circulation distincts. Au nord un espace uniquement fréquenté lors des déplacements de circulation. Il s'agit d'un espace de déplacement de randonneurs car non accessible dans un rayon de 3000 m. Un secteur au sud qui concentre les fréquentations, car l'espace est accessible par les deux parkings de versants. Comme le montraient déjà les simulations antérieures, nous distinguons deux cheminements différenciés, des déplacements en aller et retour sur les crêtes et en boucle sur les versants. La gestion des impacts semble dans ce cas de figure difficile car il y a mixité des types de promenades et il apparaît difficile de différencier des cheminements privilégiés, à l'exclusion de ceux qui sont en fond de versant.

Figure 5 : Cheminements sur la réserve du Tanet après la simple fermeture de la route des crêtes.

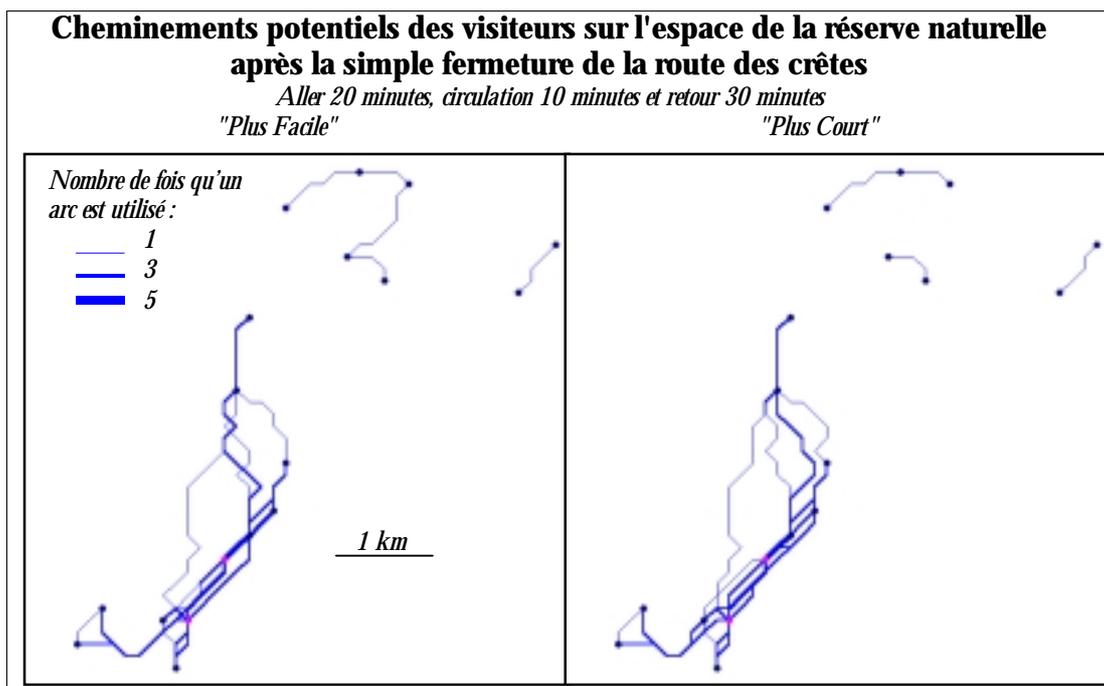
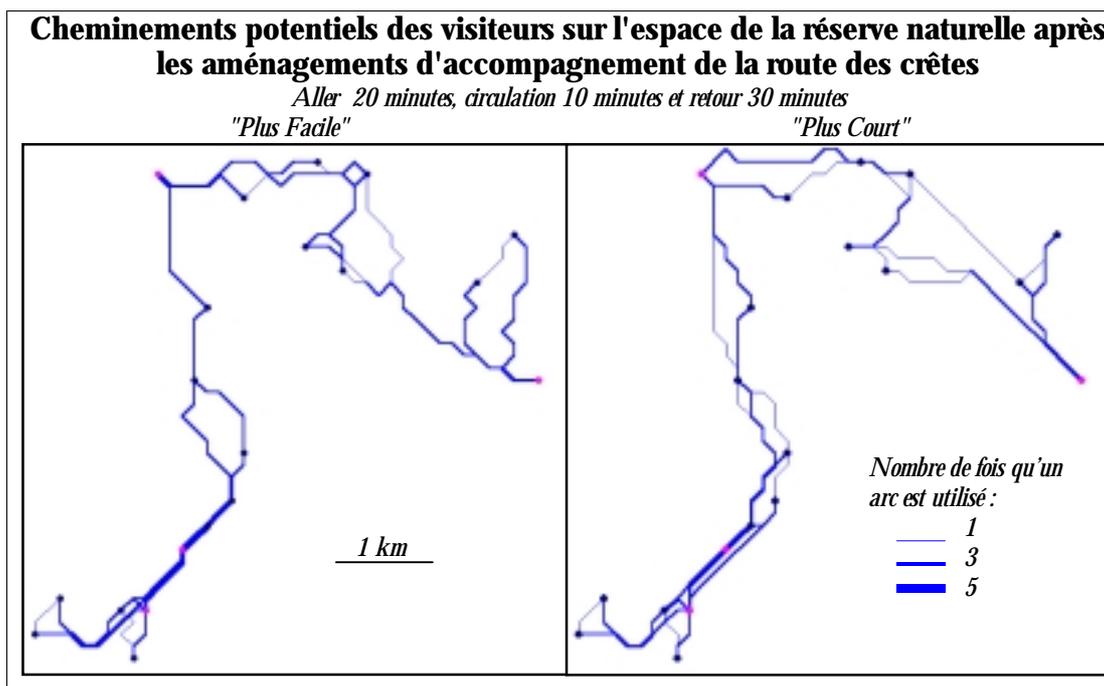


Figure 6 : Cheminements sur la réserve du Tanet après les aménagements d'accompagnement .



Les simulations ne laissent pas apparaître des changements fondamentaux dans les types de déplacements, boucle en versant et allers et retours sur les crêtes. Si l'opération reste à ce niveau de simple fermeture, nous risquons de concentrer la fréquentation sur des zones particulières. Dans ce cas, une attention toute particulière devra être apportée aux aménagements de sentiers afin de stabiliser les chemins pour limiter les élargissements de sentiers et l'érosion induite.

Il est donc possible de ne limiter l'aménagement qu'à une simple fermeture. Mais nous pouvons constater que les flux vont tous se diffuser sur un petit périmètre, ce qui peut provoquer des comportements de diffusion différents de certains visiteurs qui vont chercher à se promener sur des secteurs beaucoup moins fréquentés.

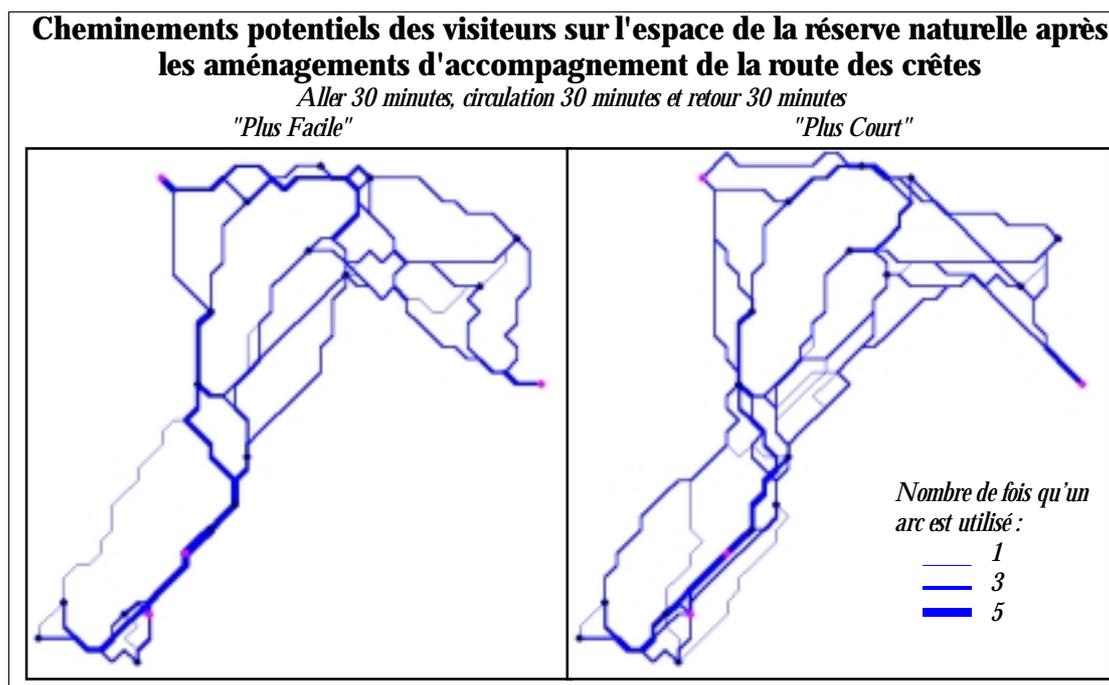
On aurait alors un secteur sur-fréquenté au sud et sous-fréquenté au nord avec une forte probabilité de voir des visiteurs qui "s'échapperaient" vers des secteurs "plus sauvages" engendrant des risques d'impacts plus importants, car ces zones n'auraient pas été aménagées en conséquence.

2.2 Cheminements après les aménagements d'accompagnement

Les simulations concernant les pressions potentielles en cas d'opérations d'accompagnement, laissent entrevoir des types de cheminements totalement différents.

La différence entre les deux types d'aménagement (avec ou sans opérations d'aménagement) montre qu'il est possible d'intervenir sur l'espace. Si les diffusions des individus semblent difficilement maîtrisables dans le cas d'une simple fermeture, elles sont plus prévisibles dans le second cas. En effet, il semble que les cheminements se canalisent plus sur des sentiers bien définis, suivant des déplacements suivant un linéaire (probablement en allers et retours).

Figure 7 : Espace de cheminements potentiels sur la réserve naturelle du Tanet après les aménagements d'accompagnement de la fermeture de la route des crêtes et une augmentation des temps de promenades.



Ce changement n'est pas sans conséquence en matière d'aménagement sur l'espace. En effet, si ce type de déplacement se révèle être vrai, cela entraîne que l'on peut agir directement sur la canalisation des visiteurs en aménageant des sentiers simultanément avec par exemple la création d'un ou plusieurs sentiers de découverte qui valorisent le cheminement. Ces simulations ne sont valables que si les visiteurs gardent les mêmes comportements de diffusion sur les espaces naturels. Or nous avons constaté, qu'un phénomène d'appel pouvait engendrer des changements de comportements de la part des individus sur les espaces naturels.

En effet, la présence d'une réserve naturelle, offrant une qualité de services en rapport avec son statut (sentier de découverte, visite guidée) peut engendrer des diffusions plus pénétrantes dans le milieu naturel, car les visiteurs sont désireux de découvrir un espace naturel préservé⁵. Il est donc nécessaire de prévoir les pressions de cheminements possibles, si les visiteurs de la réserve décident de rester sur zone plus longtemps.

⁵ N'oublions pas que le caractère de préservation appartient aux trois facteurs les plus importants de fréquentation

Cette hypothèse de pratiquer une promenade de plus longue durée est à prendre en compte car si les visiteurs augmentent leurs temps de déplacements voiture, il est possible qu'ils visitent moins de sites. La transformation du réseau d'accueil qui réduit l'accessibilité voiture, limite aussi les circuits de visites (multi - stop) et pousse les visiteurs à ne s'arrêter que sur un seul site⁶.

De plus le type de visiteurs peut changer. Les sites naturels étant moins accessibles et moins fréquentés peuvent devenir plus attractifs pour des visiteurs de type promeneurs ou randonneurs qui possèdent des temps de promenade plus importants.

On observe que les impacts engendrés sont susceptibles de répondre à des flux de déplacements de visiteurs qui se canalisent sur les sentiers et n'engendrent que peu de cheminements spontanés. Ces deux simulations sont relativement proches l'une de l'autre, mais montrent qu'il est possible de procéder à des opérations de canalisations de flux sur les sentiers, puisque les visiteurs semblent avoir tendance à se diffuser sur des cheminements bien déterminés.

Conclusion

Les différents résultats obtenus montrent que nous pouvons évaluer les cheminements pédestres en fonction de la structure du réseau. Déjà, les travaux du Laboratoire du CESA montraient que les processus sur les réseaux étaient dépendants de la localisation et du poids des nœuds dans les interactions existantes sur un espace réseau (travaux de H Baptiste sur les réseaux de villes et les transports ainsi que toutes les applications des modèles gravitaires dans un réseau).

Nous avons ainsi pu mettre en évidence que, quel que soit le type de déplacement, les répartitions et la diffusion des flux de visiteurs sur les sites semblent fortement dépendre de la localisation des nœuds et de la morphologie du graphe. Lorsque nous avons simulé des diffusions sur le MNT théorique, nous nous sommes aperçus qu'en modifiant la localisation des points d'entrée sur le milieu naturel, nous avions des cheminements qui pouvaient avoir des impacts sur l'environnement opposés : soit multiplication des cheminements soit intensification sur des sentiers.

Le nœud représente un point localisé dans l'espace dans lequel ont lieu des processus complexes. Le parking est un bon exemple de l'image complexe du nœud. Il possède deux fonctionnalités "relationnelles" sur le graphe liées à son rôle d'interface, c'est un puits et une source temporaire capable de stocker et de diffuser des flux de visiteurs sur l'espace naturel. Le nœud peut apparaître ici comme un objet plus complexe que l'arc, car nous n'avons pas pris en compte la fonctionnalité attractive de l'arc. Le cheminement représente en lui-même un élément attracteur, il ne possède pas seulement une fonctionnalité de déplacement. Lorsque l'on se promène sur une corniche, tout le déplacement est attractif car on domine un paysage. Cette prise en compte de cet élément attracteur représente l'un des principal axe de développement futur du modèle FRED.

d'un espace naturel, avec l'accessibilité et la sécurité des sites naturels.

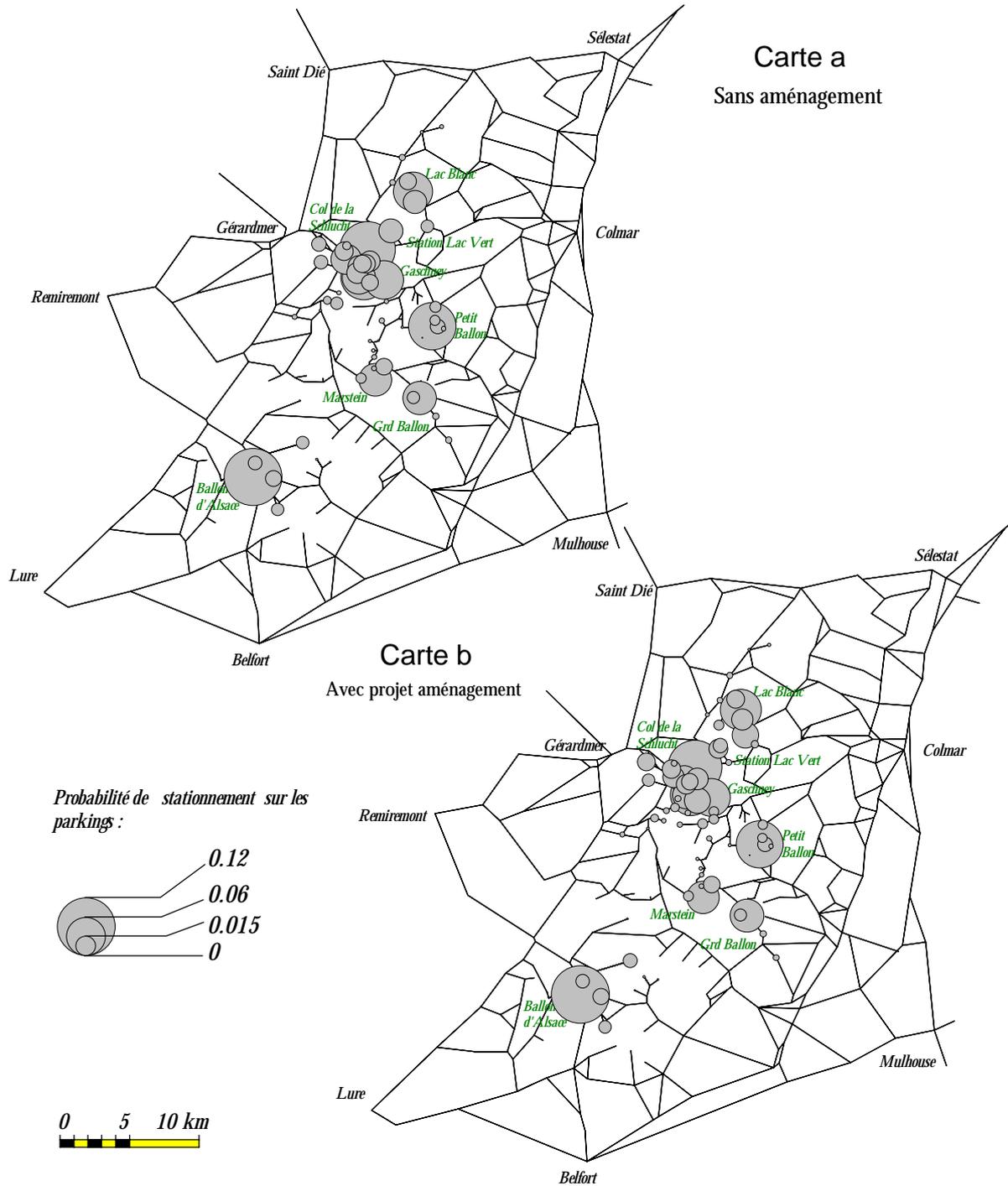
⁶ Le module de calcul des probabilités de répartitions sur le graphe routier a bien montré que les formes de fréquentations sont liées aussi à la structure et à la morphologie des réseaux, si le temps de déplacement entre deux sites est trop long, on ne visite qu'un seul site, dans le cas contraire, le visiteur à plus de choix et peut alors pratiquer un circuit touristique.

Annexes

Annexe 1 : probabilité de répartitions des visiteurs sur les Hautes Vosges

Evaluation de la répartition des visiteurs sur les Hautes Vosges après la fermeture de la route des crêtes

Simulations des probabilités de répartition au départ des villes portes sur les parkings des sites naturels après un déplacement voiture maximum de 45 minutes

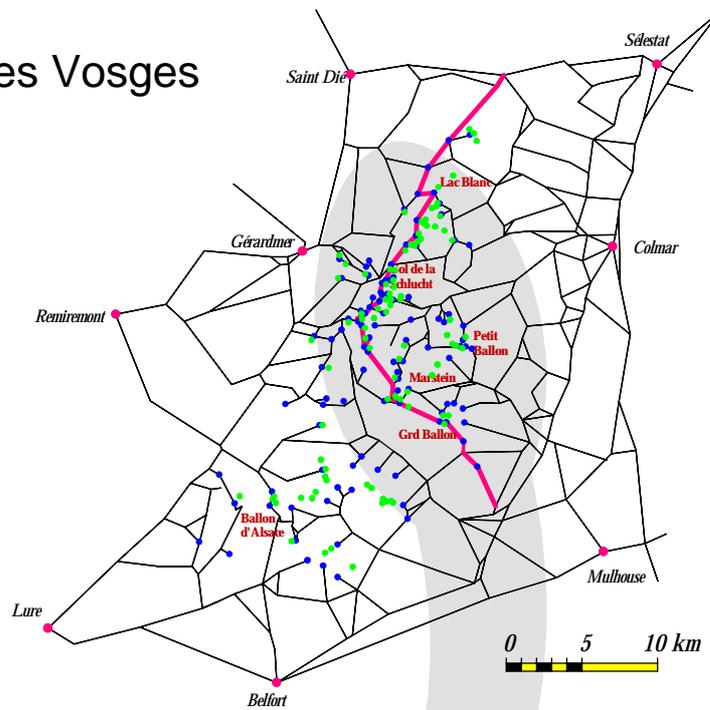


Annexe 2: Coupure et aménagement de la route des crêtes

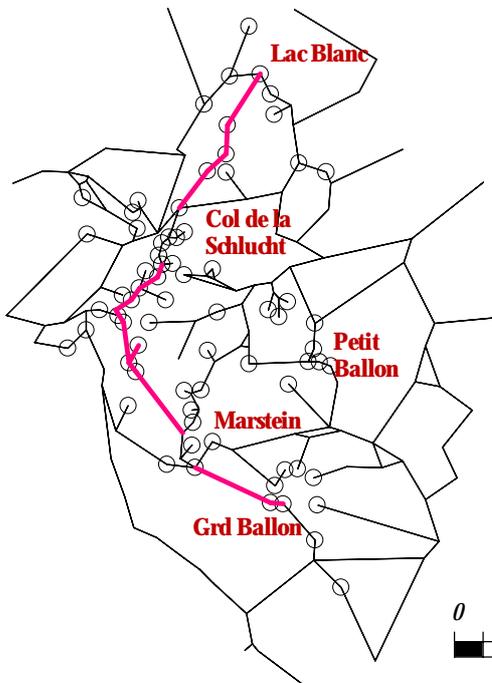
Graphe des Hautes Vosges

Carte a
Espace d'accueil des Hautes Vosges
Graphe : GphOr

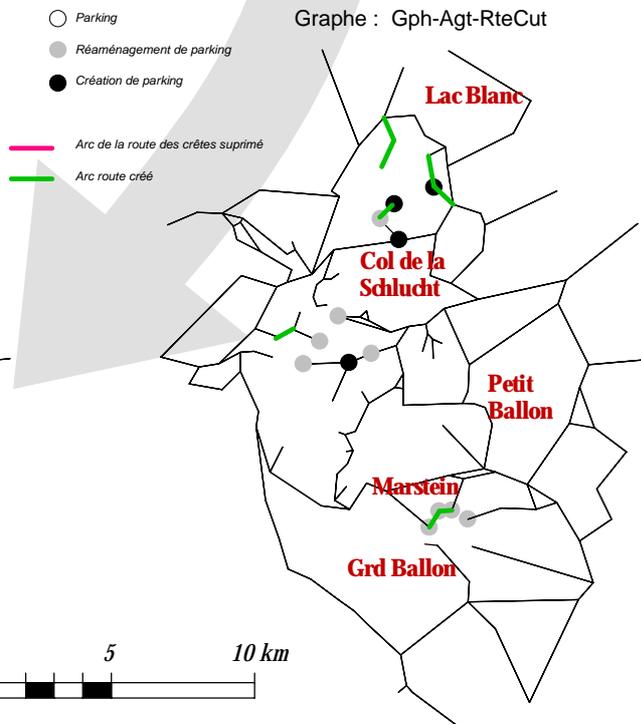
- Parking
- Curiosité naturelle
- Ville porte
- ArcRoute
- Route des crêtes



Carte b
Espace d'accueil des Hautes Vosges
Fermeture de la route des crêtes sans aménagement d'accompagnement
Graphe : Gph-RteCut



Carte c
Espace d'accueil des Hautes Vosges
Aménagement accompagnant la fermeture de la route des crêtes
Graphe : Gph-Agt-RteCut

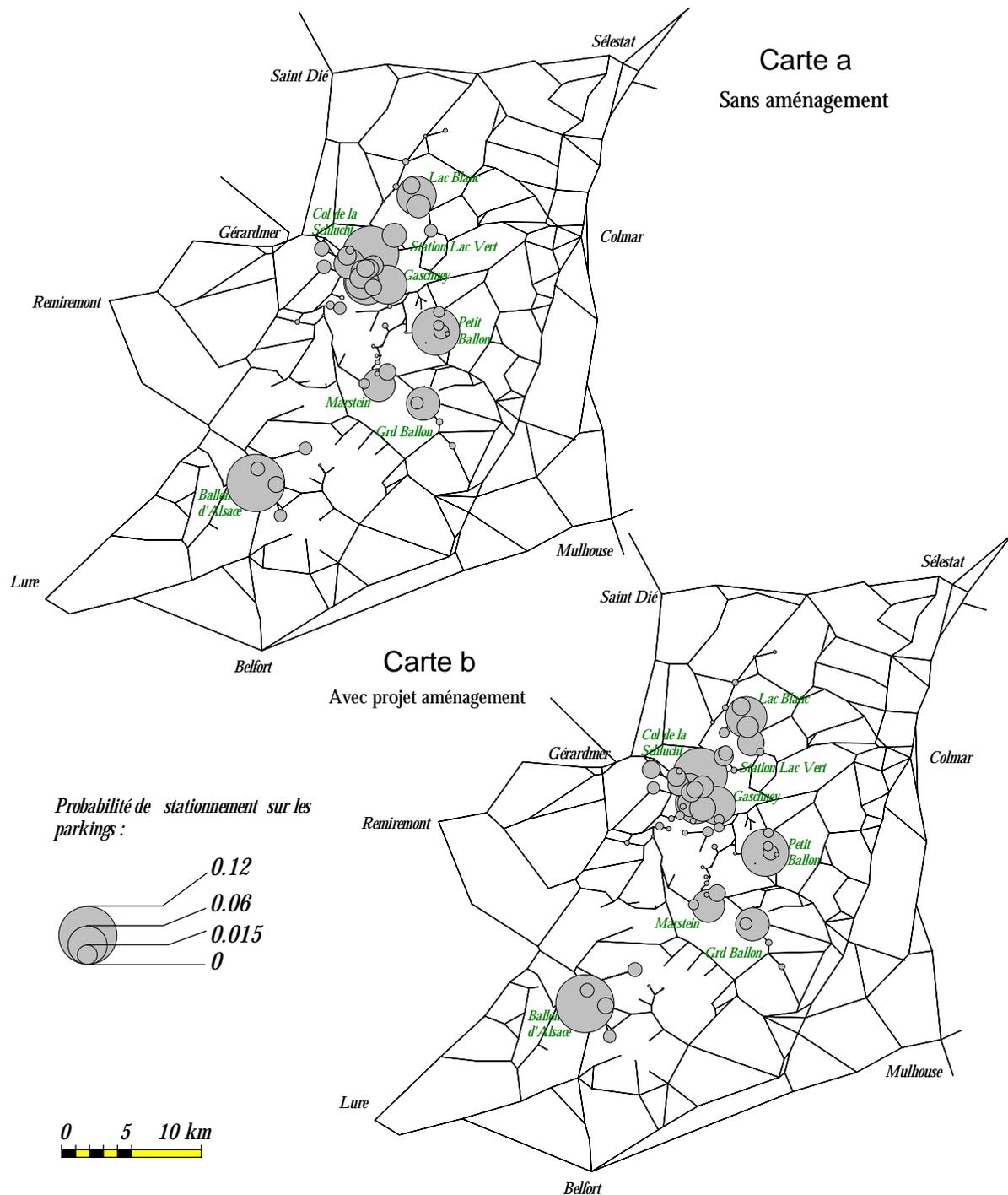


Conception et réalisation : Fabrice Decoupigny, Laboratoire du CESA. - 1999

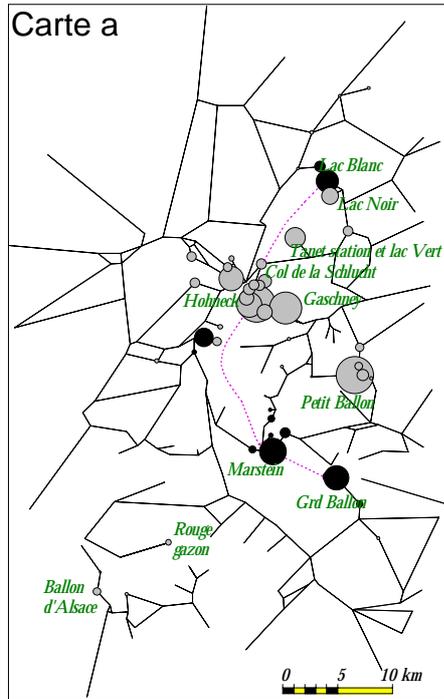
Annexe 3 : Répartition des visiteurs sur les Hautes Vosges après la fermeture et les aménagements d'accompagnement

Evaluation de la répartition des visiteurs sur les Hautes Vosges après la fermeture de la route des crêtes

Simulations des probabilités de répartition au départ des villes portes sur les parkings des sites naturels après un déplacement voiture maximum de 45 minutes



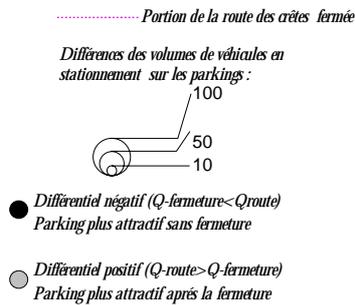
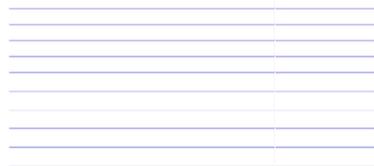
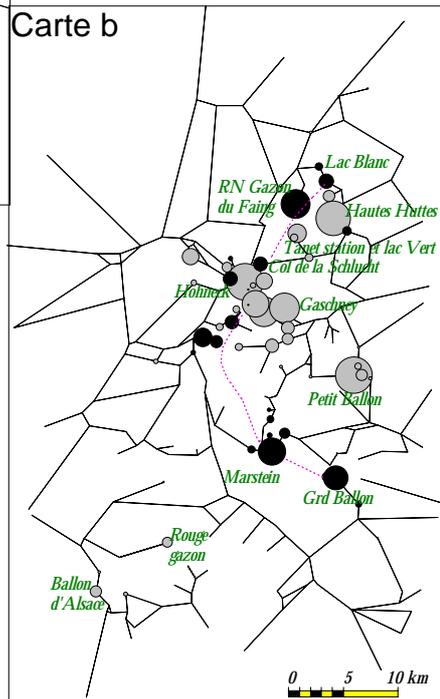
Annexe 4 : Différences de répartition sur l'espace entre les opérations d'aménagements et la situation actuelle



Différences absolues de la répartition des visiteurs sur les parkings entre avant et après la fermeture de la route des crêtes

Carte a
Différentiel entre une simple fermeture et la situation actuelle (graphe avec la route des crêtes)

Carte b
Différentiel entre la fermeture avec les aménagements d'accompagnements et la situation actuelle (graphe avec la route des crêtes)



Conception et réalisation : Fabrice Decoupigny, Laboratoire du CESA. - 2000

Bibliographie

- BAPTISTE Hervé, 1999 – Interactions entre le système de transport et les systèmes de villes, perspective historique pour une modélisation dynamique spatialisée. – 423 p dactyl.. – Thèse Aménagement de l'espace et urbanisme : Université de Tours (CESA).
- BAXTER (M.), EWING (G) 1981. – "Models of recreation trip distribution". - Regional Studies, Great Britain, Vol. 15, n°5. - pp 327 - 344.
- CHAPELON (L.), 1997. – Offre de transport et aménagement du territoire, évaluation spatio-temporelle des projets de modification de l'offre par modélisation multi-echelles des systèmes de transport. – 558 p dactyl.. – Thèse Aménagement de l'espace et urbanisme : Université de Tours (CESA).
- CHARDONNEL (S.), 1999. - Emplois du temps et de l'espace. Pratiques des populations d'une station touristique de montagne. – 201 p. dactyl. – Thèse de Géographie : Université Joseph Fourier, Grenoble.
- DECOUIGNY (F.), 1997.- Etude fréquentation Hautes Vosges. - Tours : Laboratoire du C.E.S.A., Parc Naturel Régional des Ballons des Vosges. – 70 p.
- DECOUIGNY (F.), 1997.- Méthodologie d'évaluation des déplacements touristiques, vers un outil de suivi : l'observatoire. Tours : Laboratoire du C.E.S.A., Fédération des Parcs Naturels Régionaux de France. – 39 p
- DECOUIGNY (F.), 2000.- Accès et diffusion des visiteurs sur les espaces naturels. Modélisation et simulations prospectives. – 401 p dactyl.. – Thèse de doctorat en Aménagement de l'espace et Urbanisme, Université de Tours (CESA).
- FERBER (J.), 1995. - Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective.- Paris : InterEdition, Laforia, Université Pierre et Marie Curie. – 522 p.
- FOTHERINGHAM (A.S.), 1983. - " A new set of spatial - interaction models : the theory of competing destinations ". - Environment and Planning, USA, vol. 15. - pp 15-36.
- GOMEZ-LIMON GARCIA (F.J.), LUCIO FERNANDEZ (J.V.), 1994. - "Recreational use model in a wilderness area ". - Journal of environmental management, n° 40.- pp 161 - 171.
- HAGGETT (P.), 1973.- L'analyse spatiale en géographie humaine.- Traduction Fréchou H. - Paris : Armand Colin. – 45 p. – (Collection U.)
- L'espace touristique*, 1999. - Sous la direction de Cazalais N., Nadeau R et Beudet G. - Sainte – Foy : Presse de l'université du Québec. - 287 p.-
- L'HOSTIS (A.), 1996. - Image de synthèse pour l'aménagement du territoire : la déformation de l'espace par les réseaux de transport rapide. - 306 p dactyl. – Thèse Aménagement de l'espace et urbanisme : Université de Tours (CESA).
- MATHIS (Ph.), 1978 - Economie urbaine et théorie des système. – 548 p. dactyl. – Thèse de doctorat d'Etat, Sciences Economique : Tours.
- MINOUX (M.), BARNIK (G.), 1986. - Graphes, algorithmes, logiciels. - Paris : Bordas. - 427p.
- Modèles et systèmes multi - agents pour la gestion de l'environnement et des territoires. - Coordinateur scientifique Nils Ferrand, 1999. - in Colloque SMAGET, Clermont - Ferrand, 5 - 8 octobre 1998 : Cemagref éditions. - 464 p.
- PARC NATIONAL DES ECRINS, 1992. - La fréquentation touristique du Parc National des Ecrins. - Documents scientifiques du parc national des Ecrins, n°4. - 55 p
- PARC NATIONAL DES PYRENEES, 1992. – La fréquentation touristique du Parc National des Pyrénées. – Documents scientifiques du parc national des Pyrénées, n°28. – 55 p
- POINT (P.), 1980.- Eléments économiques pour la protection des actifs naturels actifs. – Thèse de doctorat d'Etat : Bordeaux.
- RICHEZ (G.), 1992. – Parcs nationaux et tourisme en Europe. – Paris : Editions l'Harmattan. – 421 p.
- SATCHELLE, 1976. – *Les effets de la récréation sur l'écologie des paysages naturels*. – Collection sauvegarde de la nature n°11. Conseil de l'Europe. – 100 p.