

Optimisation d'itinéraire dans les espaces ouverts : application du SIG à la course d'orientation

Mise en œuvre d'un couplage réseau de communication / grille multidirectionnelle

Aout 2013

Hervé QUINQUENEL IGN\ENSG\DCAIG

Introduction

Dans le monde des SIG, les algorithmes de calcul d'itinéraire se sont adaptés aux besoins les plus communs, c'est-à-dire pouvoir construire des parcours le long de réseaux principalement routiers (choix de parcours, optimisation de tournées de véhicules, etc.). Ainsi reposent-ils toujours sur l'utilisation de graphes topologiques couplés à des règles et à l'application de poids (vitesse, distance, coût divers...) et permettent-ils de calculer efficacement les chemins les plus courts ou les plus rapides en prenant en compte de nombreuses contraintes comme les sens uniques, les non-jonctions, les vitesses moyennes, les hauteurs, les frais ou autres niveaux hiérarchiques et informations de trafic.

Cette méthode atteint ses limites lorsque que l'utilisateur se retrouve dans la situation de vouloir calculer des itinéraires en dehors des réseaux modélisés dans les bases de données classiques (ferrés, routiers, piéton, etc.). De nombreuses applications sont concernées par ce besoin, notamment la navigation maritime et aérienne, la progression d'engins militaires tout-terrain, le déplacement d'animaux, la propagation d'incendies ou de polluants, la recherche de personnes disparues ou bien simplement toutes les formes de progression pédestre dans des espaces franchissables (traversée d'esplanades en ville, espaces boisés, pelouses, etc.)

Cet article vise à présenter l'utilisation les mécanismes existant des SIG du commerce, en particulier ArcGIS Desktop 10 couplé à Network Analyst pour pouvoir traiter ces cas pas si particuliers que ça, en tentant de soulever les points critiques et les contraintes liées à cette problématique. Il traitera aussi de l'utilisation mixée de données hors et sur réseaux et permettra d'envisager des pistes de recherche ou de développement d'applications futures. Ce sujet a été en outre support de différents projets à l'ENSG qui ont permis d'avancer sur ce thème.

Actuellement plusieurs actions de recherche en cours comme "Modélisation de l'espace géographique pour l'étude des déplacements d'animaux" (thèse menée par Laurence Jolivet du COGIT/IGN), « Élaboration d'indicateurs géographiques pour contribuer à l'évaluation des politiques de la ville » (thèse menée par Anna Cristofol du Laboratoire de géomatique appliquée – LGA/IGN) ou le projet PoSAMU (accessibilité multi-échelles dans un contexte d'urgence IGN/COGIT, EA4390/UPEC, SAMU 94, ECP/LGI) sont confrontées à des difficultés de modélisation fine de l'accessibilité de l'espace ; ce retour d'expérience pourra peut-être les aider à progresser dans leurs démarches.

Méthode

Une des applications très concernée par ce besoin de calculer des itinéraires hors-réseau est la course d'orientation pédestre. En effet, le but de cette discipline sportive de compétition est de rallier le plus rapidement possible des points de passages obligatoires, en construisant mentalement soi-même son itinéraire, ceci en prenant en compte la nature « franchissable » de tous les éléments du terrain représentés sur la carte (végétation, orographie, réseaux de chemins, etc.). L'organisation de cette activité a en outre l'avantage de produire des données géographiques très précises d'occupation et de nature de sols, sous forme d'objets vectoriels géolocalisés. Les spécifications du contenu de ces cartes sont définies par la Fédération Internationale de Course d'Orientation (IOF). Nous utiliserons donc cet exemple par la suite pour appliquer les résultats des développements sur des cas réels, en tentant dans un premier temps d'isoler les paramètres influant sur le calcul d'itinéraire, c'est-à-dire :

- la nature du sol, en particulier la densité de végétation et les éléments interdisant le passage (ex : clôtures, mares, falaises, zones interdites, etc.),
- La présence de réseau de communication, qui va obligatoirement faciliter la progression,
- Les dénivelées, qui vont ralentir le passage en montée et en forte descente, ou bien l'accélérer lorsque la pente est légèrement descendante.

La méthode choisie sera donc la suivante :

- création d'une grille multidirectionnelle sur la zone d'étude
- couplage de ces données à un réseau de communication
- intégration dans la grille des informations sur la nature du sol et sur la franchissabilité hors réseau
- couplage de ces données à un MNT
- calcul de poids locaux en fonction de la franchissabilité et des dénivelées.
- tests sur terrain plat forestier, sur terrain montagneux et sur zone urbaine multi-niveaux
- applications, perspectives, problèmes rencontrés.

ArGis Desktop et son extension Network Analyst ont été choisis pour ces tests en raison de leurs performances de calculs géométriques et topologiques sur un nombre très élevé d'objets et de leur capacité à modéliser des poids différents suivant le sens de parcours d'un tronçon.

Création d'une grille multidirectionnelle

Comme énoncé en introduction, les calculs des SIG reposent sur des graphes planaires, cad un réseau dont la topologie est gérée de manière stricte, en particulier pour ce qui est de la découpe des objets et de la superposition parfaite des géométries aux intersections. Une méthode théoriquement efficace proposée par des élèves des cycles BTS et Ingénieur de l'ENSG est de générer une grille quadri-directionnelle (*voir*).

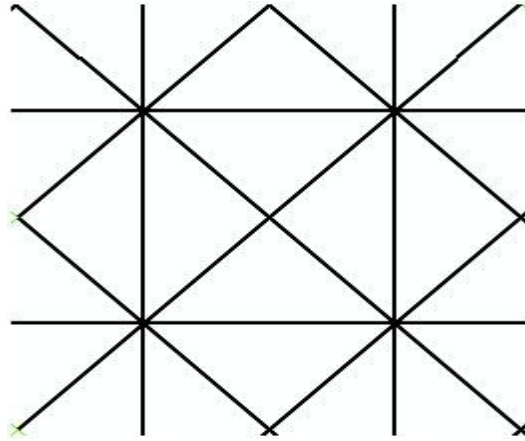


Illustration 1

Cette forme de grille offre les avantages indéniables de proposer des sens de déplacement plus proches de la réalité qu'une simple grille bi-directionnelle (voir *Illustration 2*) et de générer un nombre d'objets, certes deux fois plus important, mais relativement raisonnable.

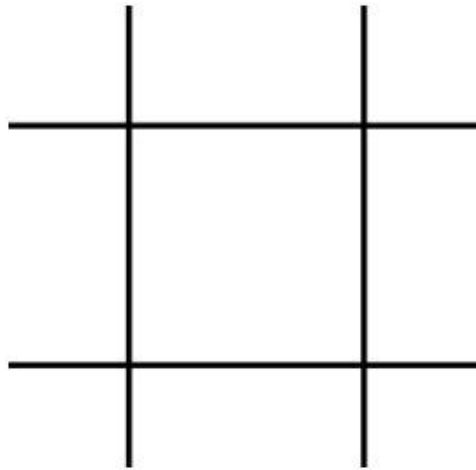


Illustration 2

Chaque tronçon peut recevoir des informations sémantiques liées à l'environnement traversé et gérer les déplacements dans un sens ou dans l'autre, ce dernier point n'étant pas possible en utilisant une grille raster simple. Cette méthode a en outre le grand avantage de pouvoir très facilement se coupler à un réseau de communication annexe, ce que nous verrons plus tard dans ce document. De plus, elle permet d'être plus exhaustif dans le maillage du territoire qu'une triangulation de Delaunay ou que des polygones de Voronoï.

Ici le choix du pas est la seule variable de cette génération de grille quadri-directionnelle, à lui de correspondre de manière suffisante à l'usage donné (le choix d'un pas très petit sur la zone d'étude aurait pour conséquence de multiplier de façon très importante et inutile le nombre d'objets, de ralentir de façon rédhibitoire les prétraitements et de dégrader les performances d'utilisation)

Un script Python a donc été écrit dans ce but par l'équipe pédagogique de l'ENSG. Il permet de définir l'emprise voulue ainsi que la taille du pas. Chaque objet linéaire est composé de 2 points ; les

objets sont découpés aux jonctions et les points y sont parfaitement superposés (voir le résultat de cette génération automatique de grilles dans l'illustration 3).

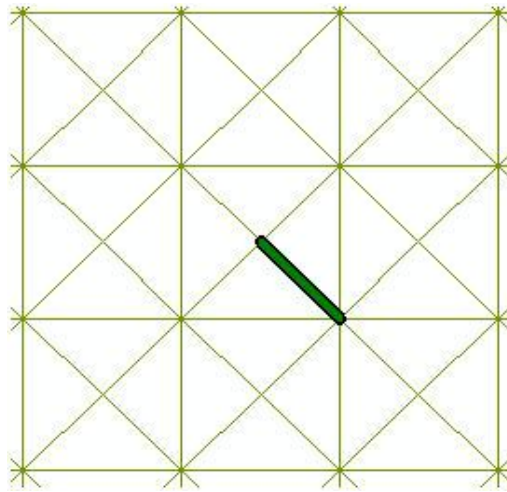


Illustration 3

Couplage d'un réseau de communication à la grille quadri-directionnelle

La présence d'une grille hors réseau ne doit pas interdire le fait d'emprunter des voies de circulation si ceux-ci sont existants à proximité et s'ils peuvent améliorer la progression. Un réseau de chemins a donc été ajouté. Dans ce test, seuls les tronçons de communication (routes, chemins, sentier, allées, escaliers, etc.) ont été arbitrairement retenus et considérés comme des éléments de franchissabilité parfaite (100%). Il est évidemment possible de caractériser si besoin de façon plus précise les tronçons suivant leur viabilité. Dans la pratique, d'autres objets comme la présence d'éléments structurant du paysage peuvent aussi servir de « main courante » à un déplacement hors sentier (rivières, fossés, murets, détails topographiques divers, etc.) mais ceux-ci n'ont pas été utilisés dans ces tests pour simplifier les traitements.

Des traitements topologiques de découpe aux intersections ont donc été lancés pour obtenir un graphe planaire couplant le réseau de chemins et la grille quadri-directionnelle (voir Illustration 4).

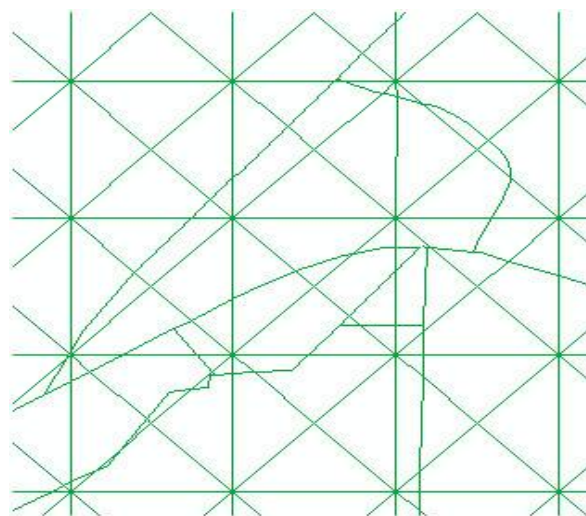


Illustration 4

Champ ajouté :

- Origine (pour savoir si les objets proviennent de la grille ou du réseau)

Cela a pour conséquence de morceler parfois extrêmement quelques objets, ce qui ne semble pas être pénalisant en termes de performance et de fiabilité des calculs.

Note : Pour les besoins de cartographie à but essentiellement graphique, la gestion topologique des réseaux n'est pas une priorité pour le « producteur de données / cartographe ». Par conséquent les données de réseaux récupérées ont dû être nettoyées et des outils de correction topologique ont dû être utilisés.

Intégration de la franchissabilité dans la grille

Au préalable, tous les objets de la grille ne faisant pas partie de l'emprise exacte de la zone d'étude ont été supprimés afin de contraindre le calcul d'itinéraire aux endroits où des informations de franchissabilité sont réellement disponibles (et cela permet en outre de diminuer la taille du futur graphe !). Un résultat similaire peut aussi être obtenu en codant les objets extérieurs systématiquement comme étant interdits (franchissabilité = 0)

Afin de pouvoir utiliser cette grille pour effectuer des calculs, un champ est indispensable :

- Franchissabilité (de 0 à 100%), sachant que la valeur 0 doit impérativement interdire le passage (et pas seulement le ralentir fortement).

L'information de franchissabilité a directement été récupérée depuis la carte vectorielle de course d'orientation, produite dans le logiciel OCAD. En effet, outre le caractère topographique qu'elle offre, est indiquée aussi grâce à des codes de couleurs ces informations indispensables au coureur pour anticiper ses choix d'itinéraire.



Illustration 5 : Exemples de représentation de franchissabilité pour la forêt sur les cartes IOF

Blanc : de 100% à 70% (valeur moyenne retenue : 85%)

Vert clair : de 70% à 50% (valeur moyenne retenue : 60%)

Vert foncé : de 50% à 30% (valeur moyenne retenue : 40%)

Vert très foncé : de 30% à 0% (valeur moyenne retenue : 15%)

Un traitement automatique a donc été créé dans Model Builder pour coder les tronçons du graphe, par intersection de la couche « nature_du_sol » et de celles des obstacles linéaires (ex : clôtures) et surfaciques (ex : zones interdites) avec les maillons de la grille ; l'information de franchissabilité est ainsi intégrée dans les objets quadridirectionnels (voir extrait du processus dans l'illustration 6)

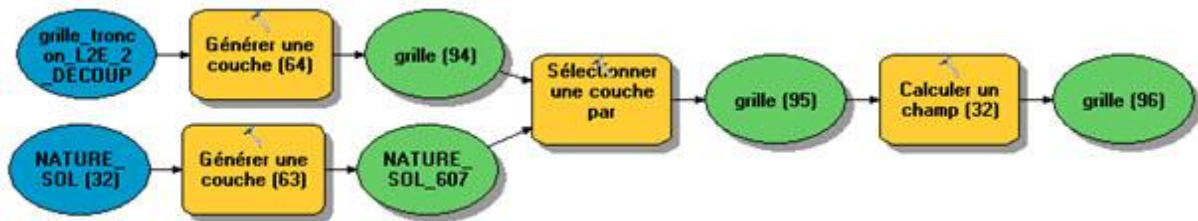
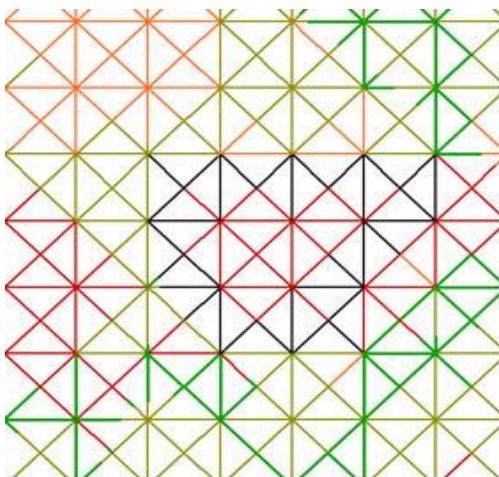


Illustration 6

Les premiers résultats visuels sont visibles dans les illustrations 7 et 7 bis. Dans l'illustration 7, l'information de franchissabilité a été codée suivant des couleurs du plus au moins accessible : Vert foncé -> Vert clair -> Orange -> Rouge -> noir, sur une grille d'un pas de 50m, le réseau de chemin ayant été masqué pour bien estimer le résultat. L'illustration 7bis montre la même information superposée à la carte de course d'orientation.



Illustrations 7



Illustrations 7bis

On constate que les clôtures interdisent bien l'accès à la zone centrale verte, que la densité de végétation, bien que fortement discrétisée avec ce pas important, est correctement modélisée. Quelques défauts sont constatés avec cette méthode :

- dans une zone dégagée (blanche), une toute petite surface de végétation dense (ici la zone verte) intersectant la grille a pour conséquence de rendre abusivement l'objet très peu franchissable (voir illustration 8). Peut-être serait-il pertinent de fixer un seuil minimal d'aire sur la surface d'intersection dans ce calcul.

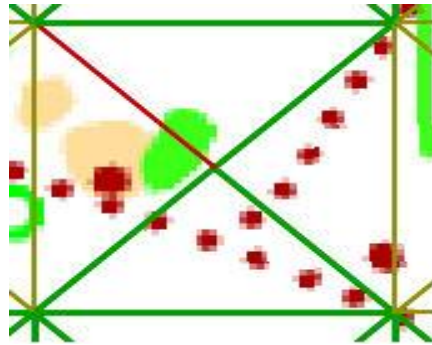


Illustration 8

- de même, en raison de la taille importante de la grille, certains passages possibles au milieu de zones très peu franchissables sont sous-détectés (voir illustration 9).

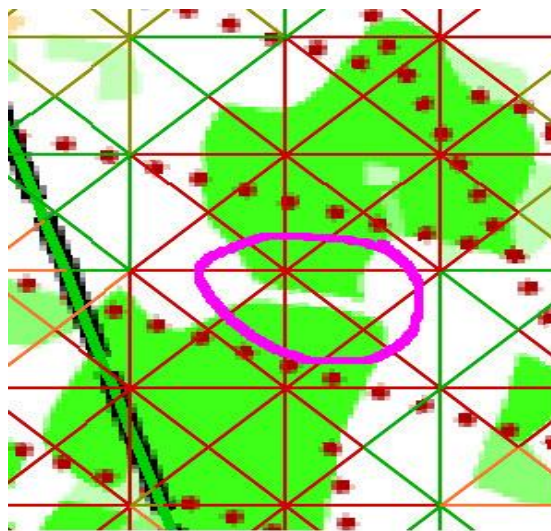


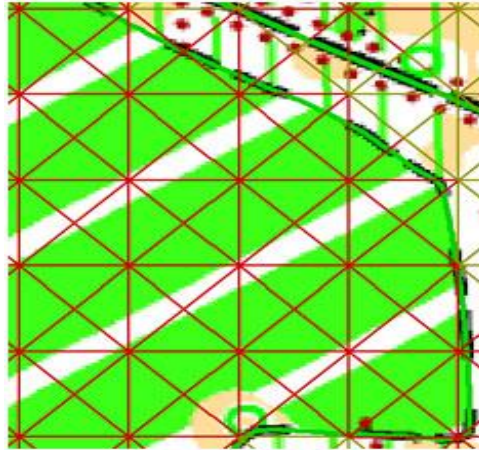
Illustration 9

Ce cas peut être extrêmement gênant quand il s'agit de représenter un accès étroit dans une espace infranchissable (ex : une ouverture dans une clôture). Ces cas doivent donc être observés avec précaution et si besoin la grille doit être densifiée manuellement pour les prendre en compte, tout en prenant soin à conserver une topologie correcte.

Qualité des données d'occupation du sol récupérées : Là aussi les données d'origine ont été produites dans le but principal de générer un rendu visuel final parfait, sans trop se soucier de la topologie des surfaces. Par conséquent, dans nos calculs, les surfaces ont été intersectées en commençant par celles de franchissabilité les meilleures et en terminant par les pires, afin de s'affranchir des superpositions d'objets éventuelles et de s'assurer que ceux les plus contraignants ne soient pas oubliés, quitte à être surreprésentés. Pour limiter au minimum le nombre d'objets du graphe, ceux-ci n'ont volontairement pas été découpés aux frontières des différentes surfaces. Aussi, comme il n'y a pas de différence visuelle entre une absence de surface et une surface de couleur blanche dans les données source, il est fréquent de constater sur les bases de données servant à dessiner les cartes de course d'orientation des zones sans objet, cad blanches, représentant les zones forestières d'excellente franchissabilité. Il a donc fallu détecter puis reconstituer ces objets

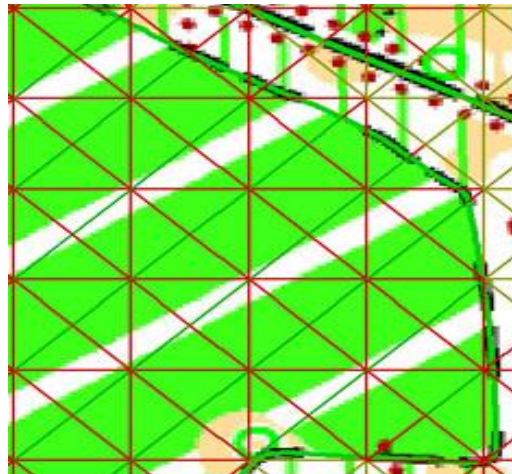
grâce à des traitements automatiques (complément de l'existant et nettoyage des éventuelles micro-surfaces résultantes).

A noter que les spécifications des cartes de courses d'orientation permettent de codifier un sens de course facilité au sein de zones moins pénétrables. Cette information n'a pas été traitée dans ce test mais il est possible de récupérer cette valeur d'orientation dans le SIG et d'adapter les valeurs de champs du graphe en conséquence, par comparaison d'azimuts. Ce paramètre peut s'avérer très important dans des applications militaires (ex : progression dans un verger, dans une vigne, etc.) (voir illustrations 10 et 10 bis).



Illustrations 10

Illustration 10 : Création de grille sans prise en compte du sens de course matérialisé par des bandes blanches parallèles : tous les objets sont traités de la même manière.



Illustrations 10 bis

Illustration 10 bis : Avec une éventuelle prise en compte du sens de course : les objets de la grille quadri-directionnelle ayant un azimut proche de celui des bandes blanches deviennent plus facilement pénétrables.

Un aperçu du codage sur une zone importante est visible sur les illustrations 11 et 12.

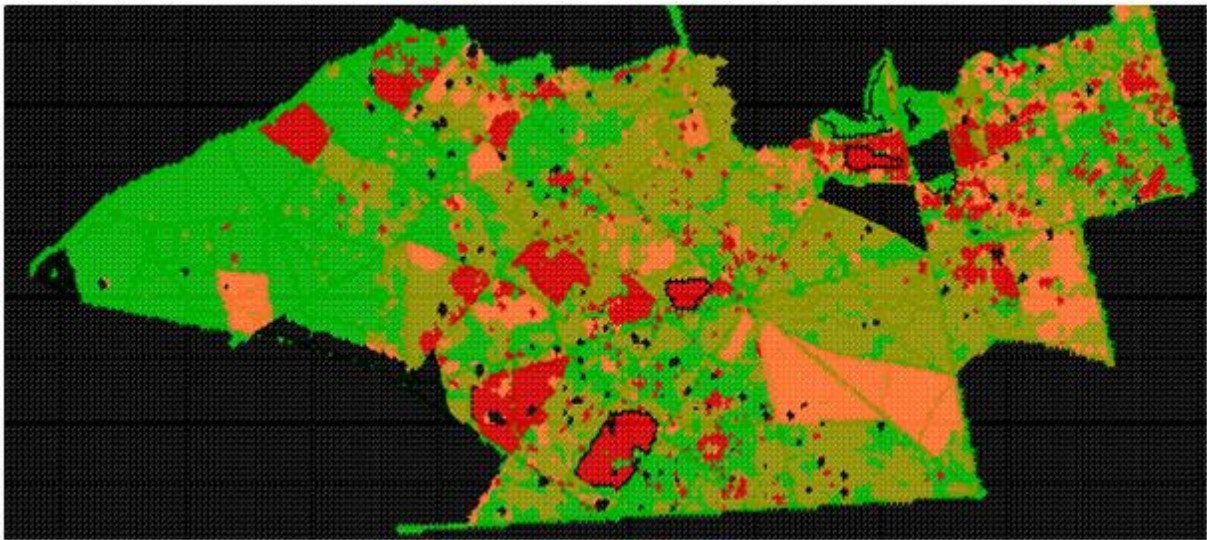


Illustration 11 : Modélisation d'extrait de la forêt de Notre-Dame (Val de Marne) d'environ 6km²

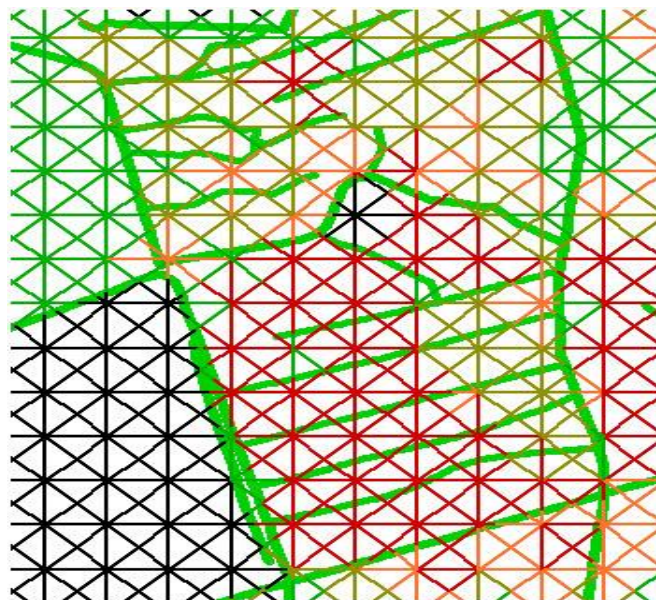


Illustration 12 : Exemple de modélisation du graphe composé du réseau de chemin couplé à la grille quadri-directionnelle. On remarque quelques tronçons en antenne et des discontinuités dans le réseau. Ces « défauts » ne sont que le reflet de la réalité terrain et ne posent pas de problème si le pas de la grille est adapté à la précision requise par le mode de déplacement.

Couplage d'un MNT et calcul de poids en fonction de la franchissabilité et des dénivelées.

Tout comme la franchissabilité, la dénivelée est une variable importante dans le choix d'un itinéraire, principalement par l'augmentation du coût énergétique qui en résulte. Ce coût sera d'ailleurs très différent si l'on parcourt un itinéraire en montant ou en descendant, cad si un objet du graphe (provenant de la grille ou du réseau de communication) est parcouru dans un sens ou dans l'autre.

Pour remplir ces informations, nous avons utilisé l'extension « ET Geowizard » pour ArcGIS, dans sa version gratuite, et notamment la fonction « Get Z Characteristics »

Ces traitements permettent de créer et calculer 3 nouveaux champs importants pour ces tests :

- H_{Up} : contenant la dénivelée positive obtenue sur chaque objet parcouru dans le sens direct
- H_{Down} : contenant la dénivelée négative obtenue sur chaque objet parcouru dans le sens direct
Pour obtenir les informations dans le sens inverse, il suffit d'échanger les valeurs.
- $Lenght_{2D}$: longueur à plat de l'objet

De façon empirique, nous avons considéré que monter à pied de 5m correspondait à une dépense d'énergie supplémentaire d'environ 50m par rapport au même parcours à plat. (5m étant l'équidistance classique des cartes de course d'orientation). En utilisant cette règle, lorsque la dénivelée dans le sens direct (respectivement inverse) est positive, nous avons créé et rempli 2 champs « $longueur_ponderee_direct$ » (respectivement « $longueur_ponderee_inverse$ ») grâce à cette formule simple :

$$longueur_ponderee_direct = Lenght_{2D} + H_{Up} * 10$$

(respectivement : $longueur_ponderee_inverse = Lenght_{2D} + H_{Down} * 10$)

En absence de dénivelée, « $longueur_ponderee_direct$ » et « $longueur_ponderee_inverse$ » sont égales à la longueur à plat du segment. Avec ce mécanisme, un système de bonus / malus peut aussi être attribué dans le cas de faibles ou très fortes descentes qui peuvent accélérer ou ralentir la progression. Ceci n'a pas été mis en œuvre dans ce test.

Un exemple de résultat est visible dans les illustrations 13 et 13 bis.

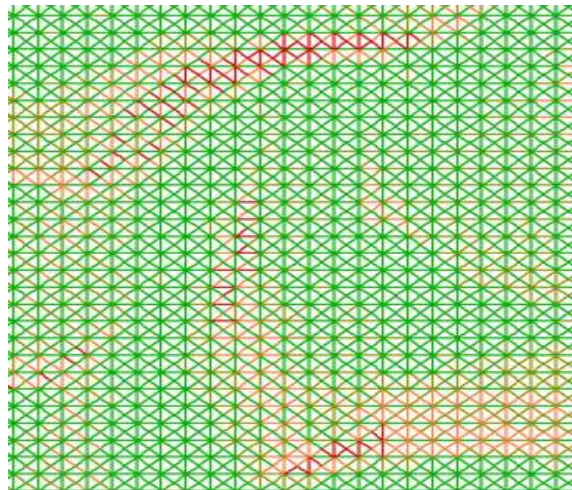


Illustration 13 : Aperçu de la pondération d'une grille quadri-directionnelle suivant la pente dans le sens direct.

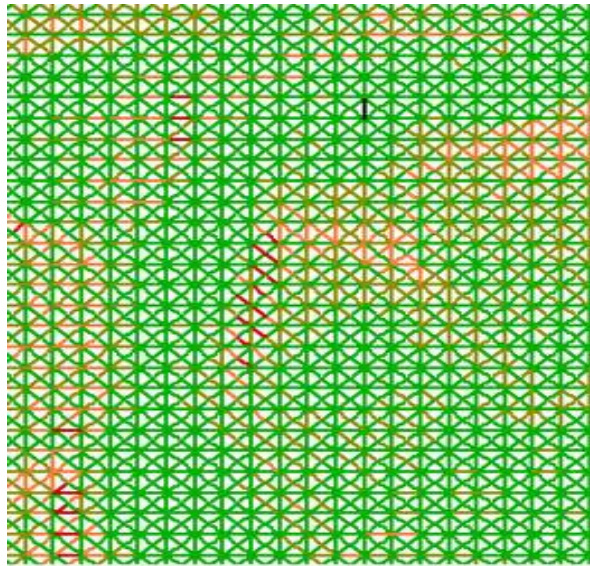


Illustration 13 bis : Aperçu de la pondération d'une grille quadri-directionnelle suivant la pente dans le sens inverse.

On notera une certaine difficulté à comprendre le relief avec cette méthode de stockage de l'information inadaptée à une représentation visuelle (la carte au 1 :25000 avec ses courbes de niveau et son estompage reste quand même plus compréhensible!, voir illustration 13 ter IGN/SCAN25®)



Création d'un coût universel

Avec les critères retenus pour ce test, nous prenons donc en compte la franchissabilité et la longueur pondérée par la dénivelée.

Les objets dont la franchissabilité est nulle correspondent aux accès strictement infranchissables. Une règle particulière de restriction doit donc être définie pour eux.

Pour les autres (Si « franchissabilité » != 0)

$$\text{« Cout_direct »} = \text{« longueur_ponderee_direct »} / \text{« franchissabilité »}$$

« $Cout_inverse$ » = « $longueur_ponderee_inverse$ » / « $franchissabilite$ »

En résumé, plus le terrain est rugueux et plus la pente est forte, plus le « coût » sera important. Sur l'exemple traité, on peut mesurer des coûts variant de facteurs proches de 50 entre un tronçon très praticable et un autre très difficile de même longueur.



Illustration 14 : un exemple avec une très forte pente et traversant en partie une zone de végétation très dense (vert foncé) -> $Cout_direct$ (en descente) = 3, $Cout_inverse$ (en montée) = 24

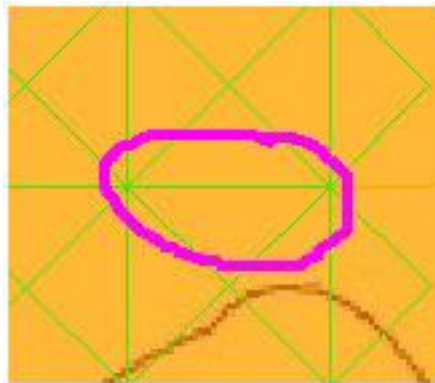
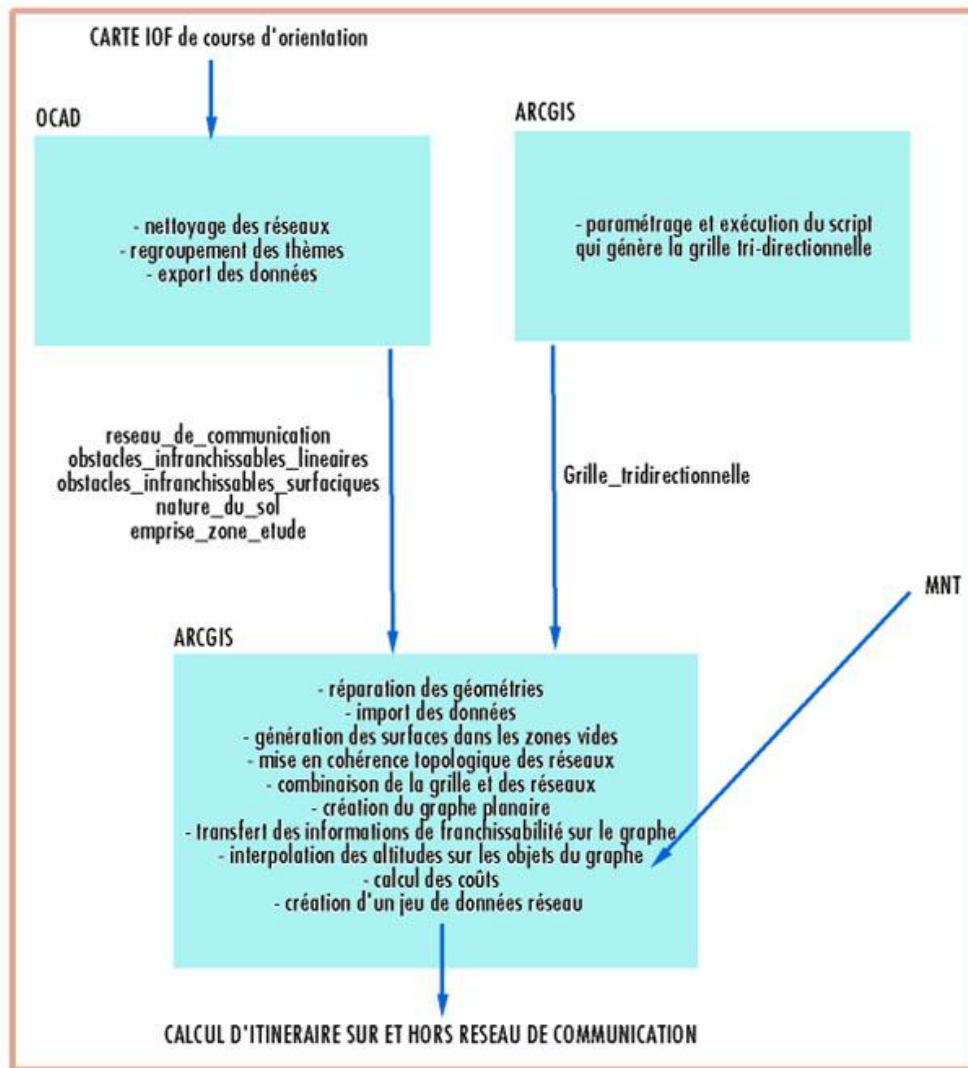


Illustration 15 : un objet avec une pente très faible et traversant une zone parfaitement dégagée (jaune) -> $Cout_direct$ = 0.5, $Cout_inverse$ = 0.6



Résumé du processus mis en œuvre (voir Illustration 16):

Champs du modèle de données :

Couches « reseau_de_communication », « obstacles_infranchissables_lineaires », « obstacles_infranchissables_surfaciques », « nature_du_sol », « emprise_zone_etude » :

symbol	numéro de symbole issu des données sous OCAD. Il correspond au code de la nature de l'objet
angle	orientation de l'objet issue des données sous OCAD. Il permet de stocker une éventuelle information d'orientation sur un ponctuel ou de hachures sur une surface

Couche « Graphe » :

franchissabilité	pourcentage de franchissabilité (de 0 à 100)
origine	sert à savoir si l'objet provient de la grille quadridirectionnelle (valeur « grille ») ou du réseau de communication (valeur « reseau »)
Length_2D	longueur à plat de l'objet. Calculé par ET_Geowizard
H_Up	dénivelée positive de l'objet pris dans le sens de numérisation. Calculé par ET_Geowizard.
H_Down	dénivelée négative de l'objet pris dans le sens de numérisation. Calculé par ET_Geowizard.
longueur_ponderee_directe	longueur 2D de l'objet, rallongée par l'équivalence de dépense d'énergie due à la dénivelée calculée dans le sens direct de la numérisation.
longueur_ponderee_inverse	longueur 2D de l'objet, rallongée par l'équivalence de dépense d'énergie due à la dénivelée calculée dans le sens inversion de la numérisation.
Cout_direct	Coût de déplacement sur chaque objet parcouru dans le sens direct de la numérisation, cumulant les informations de franchissabilité et de dénivelée. Utilisé pour la génération du jeu de données réseau
Cout_inverse	Coût de déplacement sur chaque objet parcouru dans le sens inverse de la numérisation, cumulant les informations de franchissabilité et de dénivelée. Utilisé pour la génération du jeu de données réseau.
interdiction	booléen. 1 : passage interdit, 0 : passage autorisé. Utilisé comme critère de restriction lors de la génération du jeu de données réseau.

Mise en œuvre de calculs d'itinéraire

Le calcul d'itinéraire sera donc fondé sur des algorithmes minimisant le « coût » qui prendront en compte :

- La longueur de chaque objet composant le graphe
- Le ralentissement engendré par la nature du sol
- Le ralentissement engendré par le relief.

Et en ajoutant un paramètre de restriction concernant :

- les tronçons interdits
- les tronçons hors zone d'étude

La première zone de test a été choisie sur la région de Forcalquier car semi-montagnarde, donc assez mouvementée au niveau du relief, et surtout sur laquelle nous avons à disposition des données vectorielles de la carte de course d'orientation. Avec un pas de grille quadri-directionnelle de 50m, le nombre de tronçons du graphe (grille + réseau) s'élève à plus de 650000. Le pas du MNT, provenant

de la BD Alti était de 25m (un MNT plus fin aurait sans doute amélioré la pertinence des résultats de ce test). Le nombre d'objets issus de la carte de course d'orientation est d'environ 110000.

Quelques exemples :

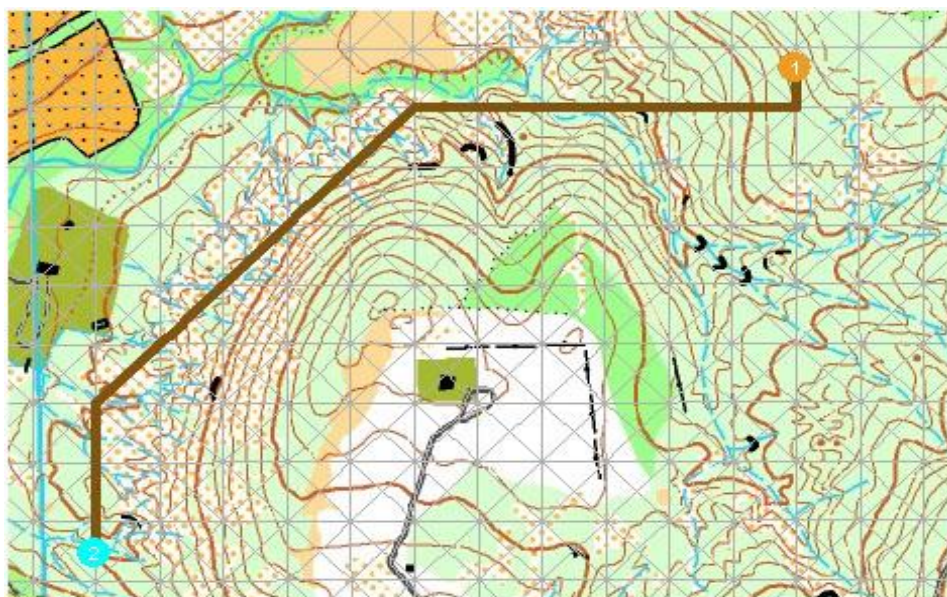


Illustration 17 : Evitement d'un relief entièrement hors réseau de communication.

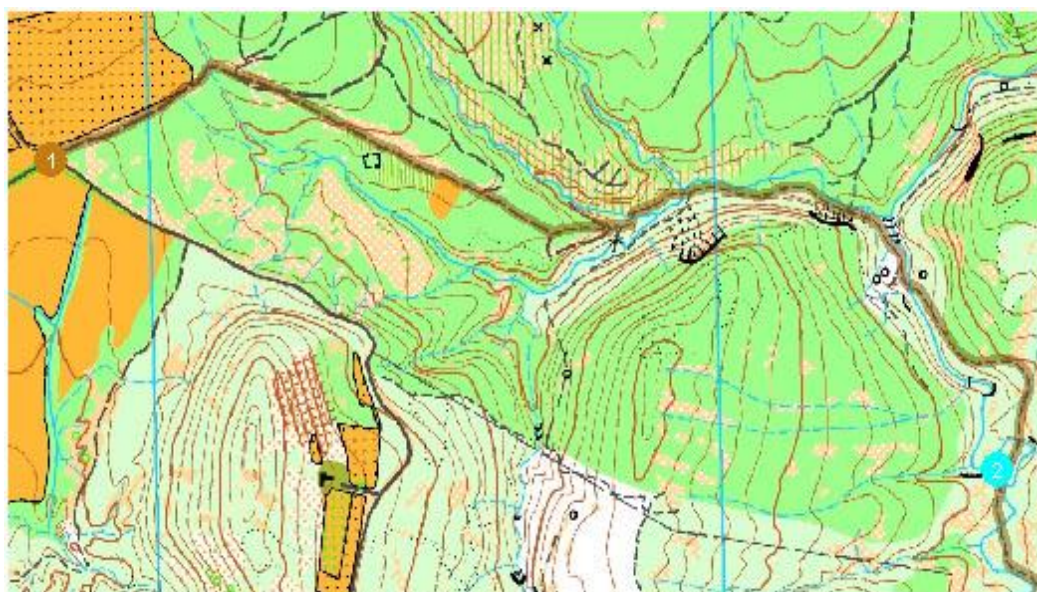


Illustration 18 : Privilège des sentiers et évitement de relief.



Illustration 19 : Evitement d'obstacles linéaires infranchissables (falaises)



Illustration 20 : Evitement d'obstacles surfaciques interdits (cultures) : Les 2 surfaces de culture (surfaces jaunes à points noirs) ont été correctement évitées. Par contre, le pas de la grille étant trop

important, le passage par la zone herbeuse (en jaune) entre ces 2 surfaces de cultures n'a pas été possible, d'où le contournement par le Nord.

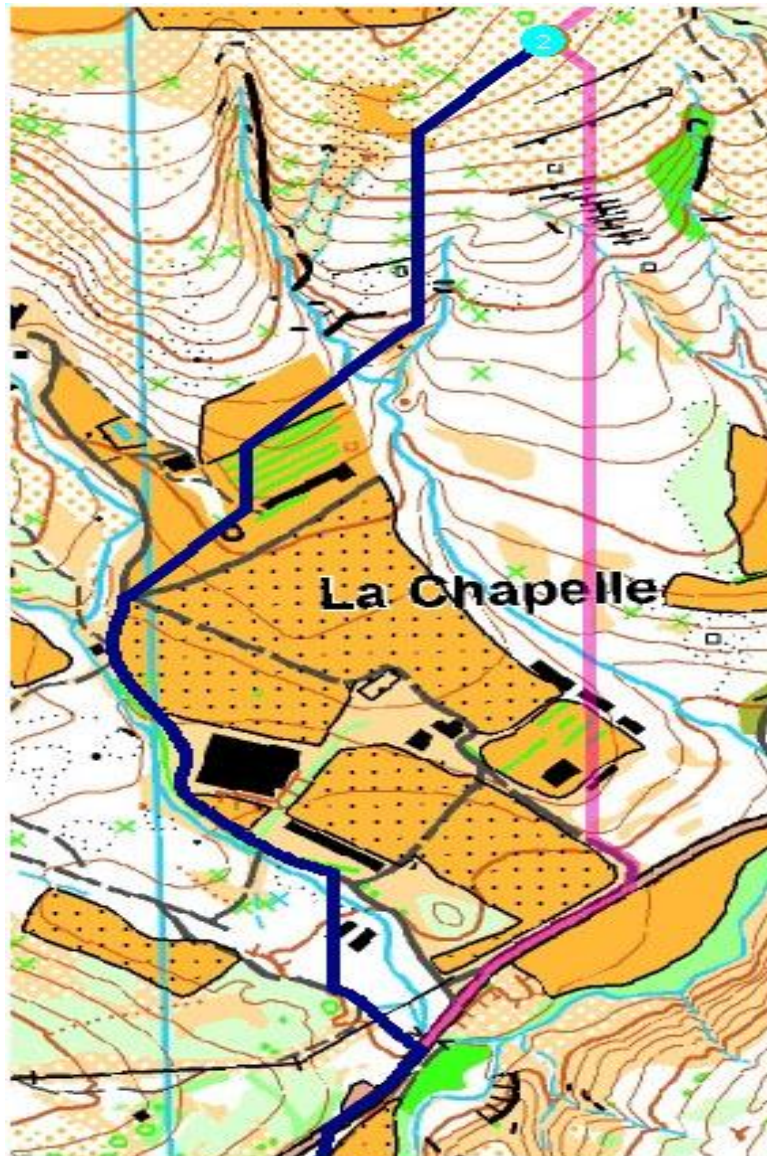


Illustration 21 : Prise en compte des montées : l'itinéraire rose a été calculé dans le sens de la descente (Nord->Sud) : la plus courte distance a été privilégiée. L'itinéraire bleu a été calculé dans le sens de la montée (Sud->Nord) : un trajet par des chemins et par des pentes plus faibles a été ici choisi par l'algorithme.

Un deuxième test a été effectué sur la zone de « la Forêt de Notre-Dame » (94) dont nous avons le même type de données mais aussi l'itinéraire de certains concurrents d'une compétition officielle de course d'orientation (grâce au site internet www.matrace.fr et au module « Route Gadget »). La zone étant absolument plate, ici les corrections dues aux dénivelées n'ont pas été calculées.

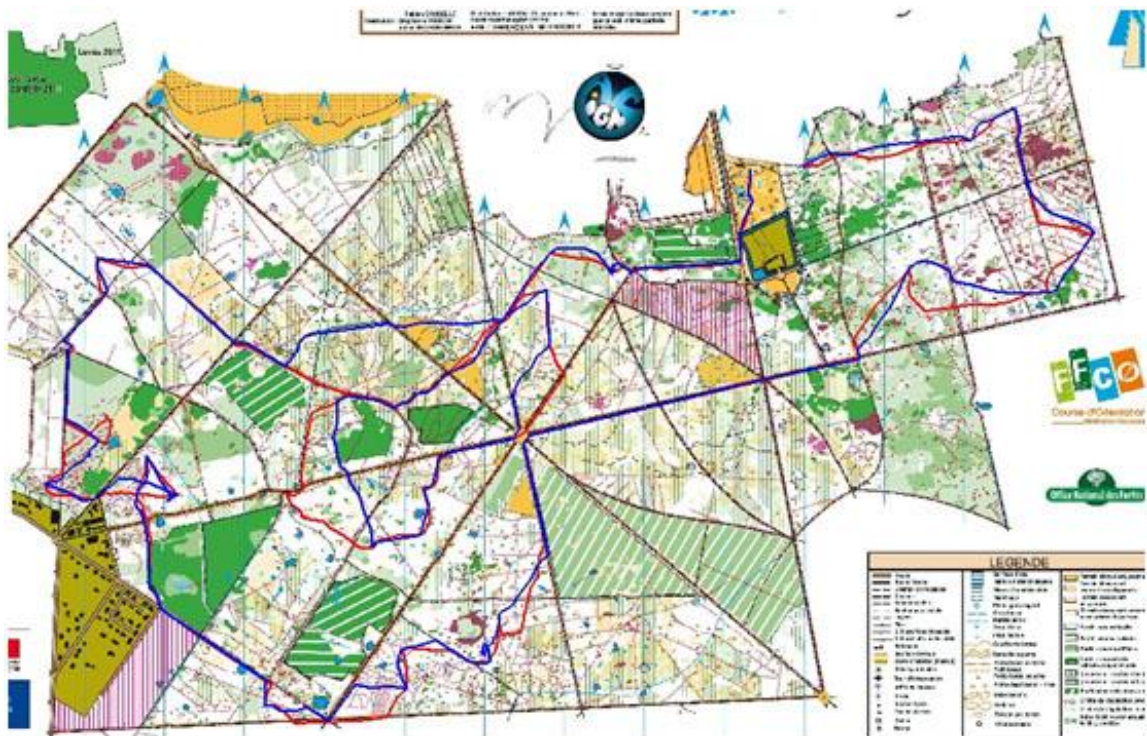


Illustration 22 : En rouge : le parcours du vainqueur (ayant un niveau physique probablement meilleur). En bleu : le parcours du deuxième (ayant probablement un meilleur niveau technique et une plus grande expérience)



Illustration 23 : Tracé du parcours calculé par le SIG

En comparant les parcours des coureurs et ceux calculés par le logiciel, on constate une très forte ressemblance. La seule différence notable se constate sur le tronçon au Nord-Ouest de la carte ; d'autres concurrents ayant fait des choix se rapprochant de la solution calculée, on ne peut donc pas

en conclure qu'il s'agisse d'une imperfection dans la méthode de calcul. (ex : Extrait du parcours du 6^{ème} de la compétition, voir illustration 24)



Test de modélisation de grilles multi-niveaux :

Les SIG évolués permettent de gérer la connectivité entre différents réseaux ou modes de déplacement. Même si cette contrainte est assez rare en course d'orientation, il arrive aux sportifs de devoir penser en 3D pour ce qui est des accès, en particulier en zone urbaine où des passages supérieurs et inférieurs sont plus fréquents qu'en milieu naturel. Nous avons donc voulu nous assurer que l'organisation proposée soit compatible avec une orientation « multi-niveaux ».

Pour gérer de manière efficace différents niveaux (étages) il est nécessaire de caractériser les éléments de la base de données (grille et nature du sol) suivant leur niveau et de modéliser les accès à ces niveaux (escaliers, rampes, etc.). Ici 2 champs seront nécessaires si l'on veut modéliser plus de 2 niveaux : « Niveau début » et « Niveau Fin » (la notion de sens pourra être gérée dans les champs « Cout_direct » et « Cout_inverse »).

ArcGis permet de mettre en œuvre ces concepts grâce à des « groupes de connectivité ». Nous avons donc tenté de les tester sur notre thématique.

Exemple d'un garage aérien à 2 niveaux sur une zone test « l'Arche Guédon » à Torcy (77). Sur l'illustration 25, les points 1, 2 et 3 sont au niveau 0. Par contre sur l'illustration 26 le point 2 est configuré comme étant au niveau 1. On remarque que le calcul d'itinéraire se fait correctement en passant d'un niveau à l'autre par les seuls accès modélisés.

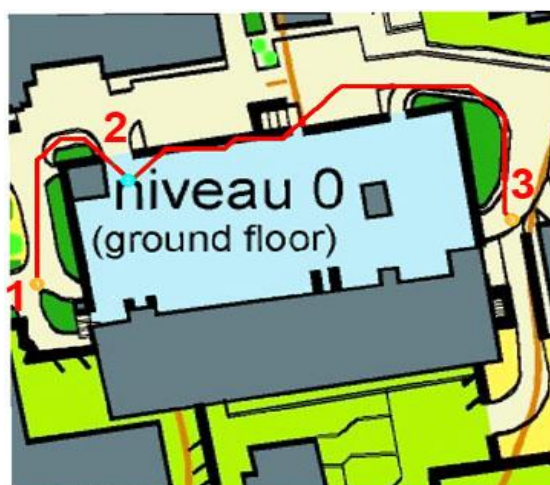


Illustration 25

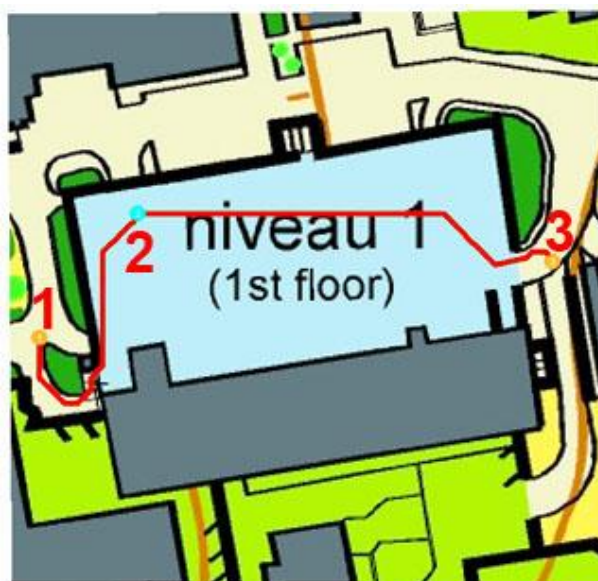


Illustration 26

Difficultés et perspectives :

- Pour définir le niveau d'un point de passage de l'itinéraire, ce n'est pas immédiat dans Network Analyst : il faut modifier manuellement la couche correct correspondant au niveau du point de passage et renseignant l'identifiant de l'objet sur le graphe sur lequel on veut s'accrocher. Un assistant permettant de choisir son niveau puis l'élément du graphe le plus proche serait appréciable.
- Au niveau visuel, il est très difficile d'appréhender un espace 3D, qui plus est d'y construire mentalement un itinéraire optimisé, avec des seules représentations 2D. Des travaux seront proposés aux élèves de l'ENSG pour soumettre des pistes d'amélioration d'un point de vue cartographique.

Test d'optimisation de parcours : « la course au score » :

En course d'orientation, la « course au score » consiste à optimiser son parcours pour rejoindre de nombreux points de passage en fonction de sa seule carte et du temps imparti. En général, ce travail mental doit être effectué par le sportif de manière très rapide au début de la course. Dans le domaine de la géomatique, ce mécanisme est communément appelé « l'algorithme du voyageur de commerce » et les SIG évolués du marché sont capables de le résoudre. Nous avons voulu tester notre modèle dans ce contexte avec « Network Analyst ».

Avec la préparation du graphe effectuée lors des tests précédents, la mise en œuvre de ce calcul a été quasi immédiate.

L'illustration 27 montre la répartition des points à relier, l'illustration 28 la résolution efficace du problème en quelques secondes grâce au SIG.

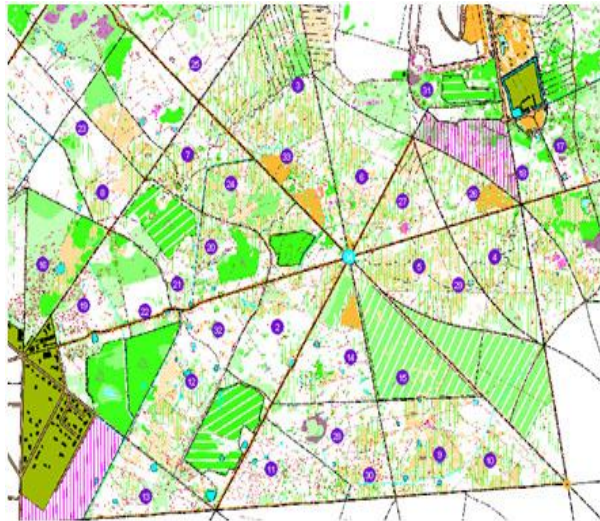


Illustration 27

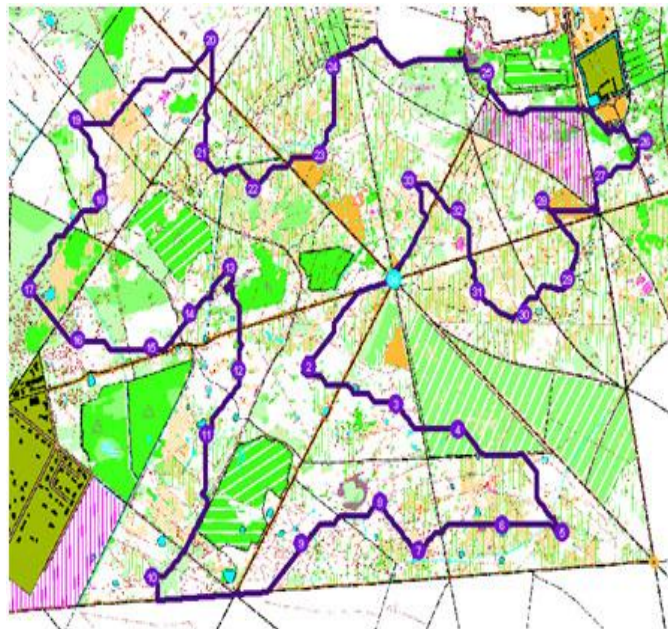


Illustration 28

Limites du test :

Néanmoins, seuls les paramètres principaux ont été intégrés au calcul de coût. Il est aisé de se rendre compte que dans certains cas assez fréquents, outre le fait de posséder un maillage plus fin, il serait nécessaire d'introduire d'autres critères pour améliorer la pertinence des résultats.

Quelques exemples critiques sont présentés ici :

Illustration 29 : Ici, on constate que l'itinéraire hors sentier choisi est certes direct, quasi plat et dans un environnement favorable (couleur blanche), mais que la pente générale assez forte du flanc n'a pas été prise en compte. Un « orienteur » aurait assurément choisi de prendre le chemin . Un facteur de ralentissement dû à la pente transversale lors d'un passage hors sentier « à flanc » au milieu d'un coteau raide devrait être ajouté.



Illustration 29

Illustration 30 : Dans le sens Nord->Sud on remarque que le tracé passe par une forte pente descendante. Si dans la réalité, c'est un frein à la progression, ici ce critère n'a pas été introduit donc nous avons un comportement identique à celui sur un terrain plat. Un facteur de ralentissement plus la pente est raide à la descente devrait être ajouté (et a contrario d'un facteur de légère accélération lorsque la pente est légèrement descendante). De même, le franchissement des cours d'eau et d'un talus n'a pas d'impact sur le calcul alors qu'en réalité ce sont des éléments qui vont ralentir la progression. Un facteur de ralentissement lorsque qu'on traverse certains éléments linéaires (rivières étroites, talus, petites falaises, fossés, etc.) devrait être introduit. Enfin, on voit que le coteau très raide au sud de l'illustration est parcouru quasiment de front. En effet, seul un critère de dénivelée a été utilisé ici, mais pas de pente, encore moins de pente critique (ce mauvais exemple est à relativiser compte-tenu de la faible résolution de la grille multidirectionnelle et du MNT). Une utilisation de données altimétriques et de graphe plus fines, voire des facteurs de sur-ralentissement lorsque que la pente atteint certains seuils devraient être introduits.



Illustration 30

Enfin, sur un test avec des données à très grande échelle, nous avons identifié un autre point important, celui de la bonne topologie des obstacles (*voir les illustrations 31 et 31 bis*)

- En violet : l'itinéraire calculé correct
- En vert clair : un itinéraire incorrectement calculé à cause d'une mauvaise information de connexion sur les objets représentant les clôtures infranchissables.

De façon très zoomée (*voir illustration 31 bis*), on se rend compte que le raccord topologique de la clôture (objet rouge) à l'angle du bâtiment (objet surfacique gris) a été mal traité. Malgré le pas très faible de la grille (ici 1m), le passage est rendu possible par erreur.



Illustration 31

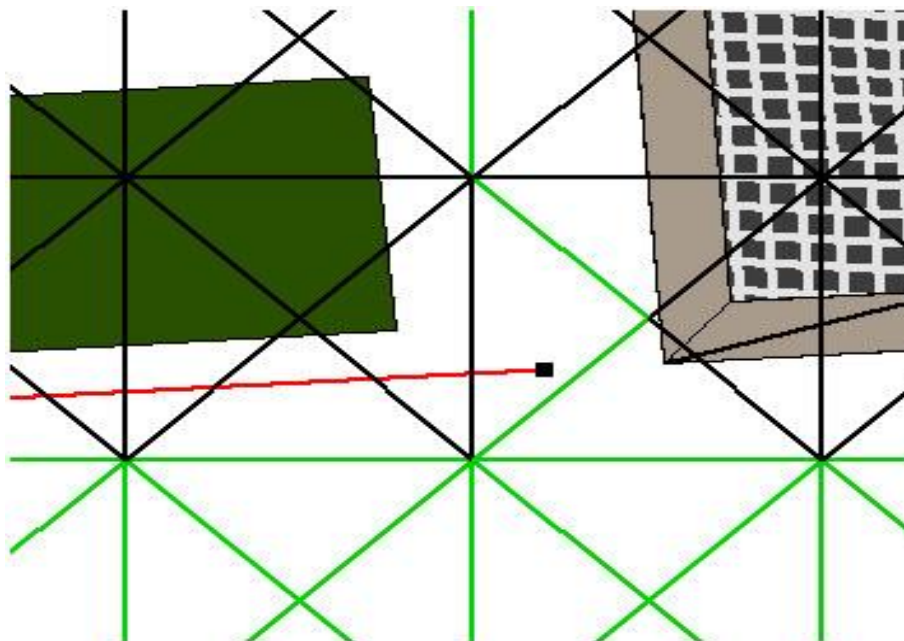


Illustration 31 bis

Conclusion et perspectives

L'utilisation principale de l'exemple de la cartographie de course d'orientation nous a permis d'être confronté à une utilisation réaliste et pertinente de ce processus sur des données à des échelles plus grandes que celles des bases de données nationales de référence, d'identifier de nombreux cas particuliers intéressants à étudier et de soulever des points critiques qui pourront être traités ultérieurement. La méthode présentée ici visait à mixer des informations de franchissabilité et de dénivelée. Elle devrait pouvoir être réutilisée dans d'autres contextes où la zone d'étude est renseignée par toute information de rugosité et par des obstacles pouvant impacter tout déplacement hors réseau de communication.

Ces tests de calcul d'itinéraire sur et hors réseau démontrent la capacité des SIG du marché, en particulier ArcGis Desktop, de produire des jeux de données adéquats et de les utiliser efficacement. De plus, nous obtenons des résultats cohérents avec la réalité, ce qui est encourageant pour la suite. Néanmoins, le nombre élevé d'objets et le caractère arbitraire de la limitation de mouvement lors de la navigation sur la grille (4 directions arbitraires) nous invite à réfléchir à d'autres méthodes possibles de modélisation des itinéraires hors réseau, peut-être plus efficaces, pourquoi pas avec des structures maillées tridimensionnelles pour être utilisées dans des milieux en véritables 3D.

Aussi avons-nous pu constater que la qualité des données, en particulier la gestion topologique des surfaces et des réseaux, a un impact très important dans les temps de préparation du graphe (nettoyage, bouchage, corrections de connexité, etc.), dans la complexité des enchainements de tous les traitements automatiques et dans les résultats constatés. Le contenu-même de ces bases de données est en outre un élément majeur pour permettre ce type de calcul. La prochaine constitution d'une base nationale d'occupation du sol par l'IGN pourra peut-être répondre à cette problématique de déplacement terrestre hors réseau si elle est couplée à des données d'obstacles fiables et complètes.

Evidemment nous avons constaté des limites et contraintes imposées par les SIG du marché pour ce qui est :

- de la préparation des données : celle-ci sollicite intensément les logiciels sur des fonctions avancées souvent très lourdes à mettre en œuvre et malheureusement parfois instables et lentes suivant les logiciels et versions utilisés.
- l'ergonomie des logiciels n'est pas forcément toujours adaptée à ce contexte (il faut souvent utiliser beaucoup de moyens détournés pour arriver au résultat)

Par conséquent, nous pouvons conclure que cette expérience a été riche d'enseignements et qu'elle ouvrira des pistes futures de recherche et de développement à l'ENSG pour aller plus loin sur ce thème des calculs d'itinéraire hors réseau.