

Etudiant :

Alisa MAZORE

N étudiant 25063

Outils de la Syntaxe Spatiale pour l'analyse de l'orientation

Recherche des méthodes anticipant les difficultés d'orientation dans un espace
aéroportuaire dès sa conception

Encadrants :

Anne TÛSCHER

Joaquim SILVESTRE

Mots-clés :

Architecture aéroportuaire

wayfinding

Syntaxe Spatiale

design des mobilités

Table des matières

Introduction	3
Glossaire	4
I Etat de l'art.....	5
I.1 Enjeux d'orientation dans les aéroports.....	5
I.1.1 Interaction avec l'environnement	5
I.1.2 <i>Wayfinding</i> au long du parcours	6
I.1.3 <i>Wayfinding</i> dans les aéroports	6
I.1.4 Architecture en tant qu'outil de <i>wayfinding</i>	6
I.2 Difficultés d'orientation	8
I.2.1 Sources des difficultés et manières d'amélioration.....	8
I.2.2 Essais échoués d'amélioration post facto.....	9
I.3 Syntaxe Spatiale pour l'analyse de <i>wayfinding</i>	9
I.3.1 Qu'est-ce que c'est la Syntaxe Spatiale ?	9
I.3.2 Qu'est-ce que c'est des Graphes de Visibilité ?.....	10
I.3.3. Mise en pratique aux espaces de mobilité.....	10
II Etude sur l'exemple d'un espace aéroportuaire	12
II.1 Point de départ.....	12
II.1.1 Problématique.....	12
II.1.2 Hypothèses	12
II.1.3 Méthode de recherche.....	12
II.2 Données de départ	13
II.2.1 Le terrain d'étude.....	13
II.2.2 Le logiciel d'analyse.....	14
II.2.3 Introduction aux instruments de la Syntaxe Spatiale.....	16
II.2.4 Les instruments de la Syntaxe Spatiale	17
II.2.5 Combinaison des instruments	20
II.2.6 Calculs finaux	22
II.3 Recueil des données	23
II.3.1 Préparations	23
II.3.2 Calcul des valeurs par le logiciel.....	23
II.4 Traitement des données	28
II.4.1 La procédure	28
II.4.2 Représentation des mesures calculées	29
II.5 Analyse et développement des résultats.....	32
II.6 Résultats	34
III Conclusion	35
Bibliographie	36
Annexes	38
Annexe 1 : Difficultés observées dans le Terminal 2B.....	38
Annexe 2 : Parcours de l'utilisateur dans la zone étudiée et le terrain d'étude	39
Annexe 3 : Explication du choix des mesures de déplacement et de déviation	41
Annexe 4 : Traitement des données dans les tableaux <i>Excel</i>	42
Annexe 5 : Transformation du fichier .csv pour le réimporter dans <i>depthmapX</i>	44
Annexe 6 : Ajustement de la visualisation des valeurs du calcul final	45

Introduction

Sociologiquement, les aéroports ont souvent été définis comme de vastes espaces éloignés des expériences ressenties (Augé, 1992). Néanmoins, ils soumettent les usagers aux comportements spécifiques en constituant ainsi un contexte affectif. Afin de s'orienter, les passagers sont censés interagir avec l'architecture aéroportuaire. En réponse, elle forme leur expérience vécue et devient ainsi un enjeu important dans le monde contemporain, où les aéroports deviennent des lieux de plus en plus fréquentés. La typologie du terminal aéroportuaire comprend souvent des niveaux interconnectés, plusieurs étapes de traitement des passagers (check-in, contrôle de sécurité, immigration) et différents types de zones d'attente. Cette complexité institutionnelle définit la configuration spatiale, les décisions du design et, conséquemment, les atmosphères ressenties, qui à leur tour forment les pratiques et l'expérience situationniste de l'aéroport.

Historiquement, la typologie de l'aéroport a été soumise à plusieurs développements dans le but d'atteindre le flux optimal de passage à travers l'aéroport en direction des avions (Pearman, 2004) et elle continue à grandir. Selon l'architecte Norman Foster, « ... qu'il s'agisse d'un aéroport, d'une ligne de métro ou d'une station de métro, l'architecture devrait vous guider sans effort. Vous ne devriez pas avoir à vous arrêter et à consulter une carte. » (Foster, 2023) Cela renvoie à la notion d'affordance, introduite par le psychologue américain J. J. Gibson – il s'agit de la capacité d'action évoquée suite à l'évaluation de l'environnement ou des objets présents. Néanmoins, les terminaux sont souvent élargis au fur et à mesure dans une manière fragmentée et peu coordonnée. (Fewings, 2001) Malheureusement, suite aux agrandissements successifs de ces espaces complexes, les terminaux sont de plus en plus liés au sentiment de confusion et désorientation. (Hernandez Bueno, 2021)

Se perdre est une expérience désagréable pour un passager – surtout dans le contexte de la « peur de voler » et de l'urgence, alors le niveau de satisfaction dépend de la facilité de trouver le bon chemin. Avec la forte croissance de l'aviation civile et le nombre croissant de passagers utilisant les terminaux, le problème de l'orientation ou *wayfinding* dans les aéroports devient de plus en plus présent. Des études (sur l'aéroport de *Londres-Heathrow* ou *Dallas Fort Worth International Airport*) démontrent que l'optimisation de l'orientation dans un contexte architectural existant est une démarche difficilement réalisable. (Fewings, 2001) Les solutions de conception, appliquées dans des lieux déjà construits, se sont révélées peu efficaces (Hernandez Bueno,

2022). La réflexion sur la facilité de l'orientation doit donc avoir lieu en amont, dès la conception du bâtiment.

Pour savoir comment diriger les mobilités « d'en haut » (par design de l'environnement), il est indispensable de les comprendre « par le bas » (à travers les pratiques des usagers). Dans ce travail l'aéroport sera étudié du point de vue du passager, tout en prenant en compte les pratiques de déplacement et d'observation dynamique de l'espace. Cette interaction avec l'environnement rend le terminal aéroportuaire similaire au milieu urbain. Afin de modéliser et analyser les processus d'orientation dans une ville, certains urbanistes ont recours à la méthode de la *Syntaxe Spatiale*, dont le but est l'examen du rapport entre la société et l'espace (Osman et Suliman, 2005). Cette analyse mathématico-graphique est basée sur l'étude des plans à travers des nœuds et des liens, et la représentation visuelle des résultats. Dans les études du design environnemental, elle fournit des données quantitatives et spatialisées au lieu de celles proposées par les sciences sociales. La *Syntaxe Spatiale* possède alors un potentiel d'évaluer objectivement la lisibilité des espaces aéroportuaires à l'étape de leur conception. Pour effectuer la recherche sur ce sujet, la perception spatiale peut être réduite à la perception visuelle de l'environnement. En revanche, les outils d'analyse existants ne sont pas adaptés au cas où on est soumis au mouvement directionnel.

Le but de la recherche est alors de savoir si les mesures de la *Syntaxe Spatiale* pourraient repérer les difficultés d'orientation dans un terminal aéroportuaire au moment de sa conception. Pour répondre à cette problématique, je vais d'abord repérer les lieux de l'aéroport Roissy Charles-de-Gaulle dans lesquels des situations de confusion seront propices pour moi en tant que passagère. Puis, je vais reconstituer le plan d'un des espaces dans lesquels des problèmes ont été remarqués. Je vais ensuite importer ce plan dans le logiciel d'analyse spatiale et récupérer les caractéristiques que le logiciel permet d'obtenir pour chaque point de cet espace – ce seront donc les valeurs des différentes mesures de la *Syntaxe Spatiale*. Après les avoir combinés dans les deux différentes manières selon la logique de déplacement dans l'espace étudié, je vais obtenir deux graphes de visibilité. Finalement, je vais voir à quel point ces graphes mettent en évidence le problème que j'ai expérimenté sur place. L'objectif est de faire ressortir la combinaison des mesures qui aurait permis de détecter en amont la difficulté détectée *in situ*. En cas de succès, la méthode développée aurait pour but de détecter les zones problématiques pour l'orientation selon les plans élaborés au moment de la conception architecturale et ainsi améliorer l'expérience des passagers dans les futurs terminaux aéroportuaires.

Glossaire

Analyse de la Syntaxe Spatiale (*Space Syntax analysis*) – une structure de quantification de la visibilité à travers l'analyse des obstructions visuelles. Les mesures principales de l'Analyse de la Syntaxe Spatiale sont la connectivité, l'intégration et l'intelligibilité. (Yuan et Zhou, 2025)

Syntaxe Spatiale (*Space Syntax*) – une théorie et un ensemble de méthodes d'étude de l'espace, comprenant à la fois l'objectivité de l'espace et notre engagement intuitif avec celui-ci. De plus en plus de scientifiques et de praticiens l'utilisent dans la conception comme un outil d'évaluation.

Elle a le potentiel de :

- a) analyser la configuration de l'espace en termes qualitatifs et quantitatifs,
- b) représenter et
- c) quantifier la performance de l'environnement bâti (Kalakou *et al.*, 2015).

Connectivité – la mesure du nombre d'espaces reliant immédiatement un espace d'origine. (Hillier et Hanson, 1984)

Le nombre de sommets du graphe qui peuvent être connectés directement à partir d'un sommet donné, ce qui correspond à la rangée visuelle à partir d'un point de l'espace. Cette valeur est plus élevée si la vue est plus large ou donne vers plusieurs directions. (Jumpei Ueno *et al.*, 2012)

La connectivité représente la proportion de surface visible à partir de n'importe quel point de l'espace par rapport à l'espace global; Une connectivité plus élevée indique une plus grande partie visible à partir d'un point, ce qui implique que le point peut également être vu à partir d'une plus grande surface. (Yuan et Zhou, 2025)

Côté piste – la zone aéroportuaire non librement accessible au public,¹ celle qui se trouve après les contrôles de sécurité. (Hernandez Bueno, 2021)

Côté ville (aussi *côté terre*) – la zone aéroportuaire qui est constituée de toute zone autre que la zone côté piste et inclut l'emplacement réservé au public.²

Intégration – une mesure normalisée de la distance entre un espace d'origine et tous les autres espaces d'un système. En général, elle calcule la proximité de

l'espace d'origine avec tous les autres espaces. (Hillier et Hanson, 1984)

L'intégration mesure la proximité de chaque élément du système par rapport à tous les autres, représente le potentiel de mouvement dans un espace (Kalakou *et al.*, 2015) ;

Intelligibilité – le degré de corrélation entre les mesures d'intégration visuelle et de connectivité visuelle dans un système ;

le degré auquel ce qui peut être vu et perçu localement dans un système permet d'apprendre le système à grande échelle sans efforts conscients (Kalakou *et al.*, 2015) ;

Graphe – un ensemble de points et de lignes reliant certains de ces points. Dans la *Syntaxe Spatiale*, les points d'un graphe définissent des espaces (des rues, des pièces ou des couloirs), mais les lignes représentent l'intersection entre chaque paire d'espaces. (Hillier *et al.*, 1987)

Graphe de visibilité – le graphique des emplacements mutuellement visibles dans une configuration spatiale. (Penn et Turner, 2001)

VGA (*visibility graph analysis*) – l'analyse des graphes de visibilité étudie les propriétés d'un graphe de visibilité issu d'un environnement spatial. Elle peut être appliquée à deux niveaux : le niveau des yeux, pour ce que les usagers peuvent voir, et le niveau des genoux, pour ce qui concerne leurs déplacements, un aspect crucial pour la compréhension des aménagements spatiaux. (Penn et Turner, 2001)

Profondeur du pas – également appelée « profondeur de point » dans la version précédente de *DepthMap*, suit le chemin le plus court depuis une ligne (ou un segment) sélectionnée vers toutes les autres lignes (ou segments) du système, et la longueur de ce chemin est enregistrée dans une ligne (ou un segment). (Turner, 2004)

Radius – l'ensemble des espaces sélectionnés dans le système global pour être analysés autour d'un espace de base. Par exemple, il sert à sélectionner tous les espaces situés à moins de 1 000 m d'un espace de base. (Turner, 2008)

¹ D'après le Déclassement partiel de piste, accessible au <https://www.meuse.gouv.fr/Demarches/Activites-reglementees/Aerien/Aerodromes/Declassement-partiel-de-piste/Declassement-piste>

² D'après le Déclassement partiel de piste, accessible au <https://www.meuse.gouv.fr/Demarches/Activites-reglementees/Aerien/Aerodromes/Declassement-partiel-de-piste/Declassement-piste>

I Etat de l'art

L'état de l'art de ce travail de recherche vise à comprendre le processus d'interaction humain avec l'environnement tangible aéroportuaire, puis les enjeux dans la recherche de la destination et les moyens possibles pour effectuer l'analyse du processus complexe de *wayfinding*.

Cette section est organisée en trois parties : la première partie envisage la perception de l'environnement aéroportuaire par ses usagers, ses pratiques courantes dans la recherche de la destination et les différents dispositifs du design aéroportuaire ayant pour l'objectif la facilitation de l'orientation. La deuxième partie introduit les difficultés que les usagers rencontrent et les essais d'amélioration de *wayfinding*. La troisième partie présente la notion de la Syntaxe Spatiale en tant qu'un outil potentiel de recherche dans le domaine des espaces de mobilité, y compris de l'architecture aéroportuaire.

I.1 Enjeux d'orientation dans les aéroports

I.1.1 Interaction avec l'environnement

Les usagers des aéroports sont toujours soumis au processus de recherche de la destination. Cette typologie particulière contient le bon chemin vers l'objectif, qui doit être retrouvé par les passagers en mouvement tout au long de leur déplacement au sein de l'espace construit. C'est à travers l'interaction avec l'environnement matériel et tangible qu'on « lit » les terminaux aéroportuaire dans la recherche du chemin à travers un terminal. Ce processus complexe comprend un ensemble des fonctions sensorielles, cognitives et motrices. (Bock *et al.*, 2024) On traite les informations spatiales venant depuis plusieurs modalités sensorielles, puis on crée et maintient des représentations mentales de l'environnement. A partir de ces données, on planifie et suit la route imaginée, tout en prenant de nouvelles décisions aux nouvelles intersections qui apparaissent. En même temps, on contrôle nos mouvements, la position et la direction dans l'espace, et on coordonne et répète tout l'ensemble des processus listés ci-dessus. D'ailleurs, le contexte aéroportuaire augmente le niveau du stress à cause des contraintes du temps, du haut niveau de surveillance et des réactions personnelles des passagers (Adey, 2008 ; Chang, 2013 ; Hernandez Bueno, 2021 ; Kalakou *et al.*, 2015). Cela peut résulter dans le sentiment de confusion et désorientation dans le cas où l'environnement aéroportuaire ne contribue pas à la recherche du bon chemin.

Les voyageurs, forcés de traverser les mêmes zones réglementées, sont cencés expérimenter les mêmes situations mobiles. La chercheuse Hernandez-Bueno a réalisé des recherches sur la perception des espaces successifs aéroportuaire par les usagers en mouvement et leurs pratiques courantes qui en dérivent. (Hernandez Bueno, 2021, 2022) A travers des observations, travail de cartographie, entretiens et questionnaires, aussi bien que grâce aux captures prises avec des lunettes *eye-tracker*, elle a eu un aperçu des points de vue des nombreux voyageurs de l'aéroport de Copenhague. La chercheuse a aussi utilisé l'aéroport en tant qu'un terrain d'étude pour observer les effets sur le flux des foules apporté par des interventions de design, qui vont être envisagés dans la partie II.2.1 « Essais échoués d'amélioration post facto ». Malgré quelques différences dans le comportement des usagers envisagés, d'après ces recherches, les usagers exercent de nombreux modèles de comportement en commun. Ils se produisent dans plusieurs situations mobiles identifiées, comme des ruptures spatiales, moments confondants, expériences positives ou négatives, ou des interactions socio-matérielles fréquentes. Par exemple, les voyageurs préfèrent passer à travers des entrées plus larges, « évidentes » et « attirantes » lorsqu'un choix se présente. Dès qu'un espace s'ouvre drastiquement, une autre pratique expérimentée est de regarder intensivement d'un côté à l'autre (*gaze crossing*), en cherchant de nouveaux indices. La pratique de ralentir aux espaces-tampon est largement déployée, car elle donne de la liberté de s'orienter avant de poursuivre le chemin. Des raccourcis sont aussi favorisés par les usagers dans leur recherche de l'expérience personnalisée et dans les conditions de précipitation.

Les usagers expérimentés dans l'architecture aéroportuaire savent quelles informations il faut rechercher et s'orientent de manière intuitive. (Hernandez Bueno, 2022) Cependant, pour les voyageurs moins expérimentés, c'est la perception incarnée qui affecte les décisions prises en mouvement au long des différents processus et fonctions dans le terminal. (Hernandez Bueno, 2021) Leur expérience vécue dans ces espaces ne se relie pas seulement sur les motivations, attentes, préférences, au contexte culturel ou à la littérature aéroportuaire de l'individu, mais aussi sur l'environnement construit qu'il doit traverser. Les études sur la facilité d'orientation généralisent alors l'expérience vécue, surtout dans le cadre de la typologie aéroportuaire où les étapes de parcours sont réglementées et identiques pour tous les usagers. De nombreuses études sur *wayfinding* contribuent à mieux comprendre le processus d'orientation chez les voyageurs dans la recherche du bon chemin. (Chang, 2013 ; Churchill *et al.*, 2008 ; Hubregtse, 2016)

I.1.2 Wayfinding au long du parcours

D'après la littérature étudiée, *wayfinding* comprend la capacité d'identifier son emplacement actuel et de savoir comment se rendre à la destination requise. Cela constitue un concept crucial dans la recherche sur l'orientation dans un environnement construit. Chaque chemin vers une destination consiste en des intersections des espaces où l'utilisateur doit décider comment poursuivre. Le processus de trouver le chemin vers une destination implique alors une série de décisions prises en réponse à l'endroit où la personne souhaite aller et aux indices fournies par l'environnement. (Fewings, 2001)

Dans le milieu urbain, les cinq indices utilisés pour se déplacer sont des points de repère, des chemins, des nœuds, des bords et des quartiers (Fewings, 2001). Les chemins et les nœuds, qui forment des réseaux de déplacement, fournissent la clé la plus importante dans le choix de la route. Dans les nœuds (ou aussi bien les intersections), il y existe de nombreuses stratégies de prise de décisions chez les voyageurs (Bock *et al.*, 2024). Par exemple, ils peuvent suivre une certaine séquence des directions, s'appuyer sur des indices trouvés, s'orienter selon des grands repères lointains, ou utiliser une carte mentale créée. Ces stratégies peuvent donc être égocentriques (décisions prises par rapport à soi) ou allocentriques (décisions prises par rapport à l'environnement). Pour vérifier cette distinction, les chercheurs ont analysé des parcours dans des labyrinthes virtuels, conçus pour mobiliser les différentes stratégies de *wayfinding*. (Bock *et al.*, 2024). Les résultats prouvent que, tout au long du chemin, il se passe un processus décisionnel généralisé qui est en commun parmi les différentes stratégies d'orientation à la fois. Cela implique que dans la prise de décisions nos références spatiales internes sont interconnectées avec les références spatiales externes lorsqu'on s'oriente dans un environnement donné.

Afin d'évaluer la performance de *wayfinding*, on utilise la notion de l'intelligibilité – la valeur qui représente la corrélation entre la connectivité et l'intégration, où la connectivité est un indicateur local (la largeur de la zone visible) et l'intégration est une propriété générale de l'espace (la facilité d'atteindre un certain endroit). Une corrélation plus élevée indique qu'un espace est ouvert et facilement accessible, ce qui le rend plus compréhensible pour l'utilisateur. (Yuan et Zhou, 2025) Une intelligibilité élevée implique alors la capacité de déduire des caractéristiques spatiales globales à partir des endroits locaux, ce qui aide les usagers à s'orienter plus facilement.

I.1.3 Wayfinding dans les aéroports

Au sein de la typologie aéroportuaire, il y existe de nombreuses solutions qui organisent le mouvement des usagers et empêchent les croisements des circulations. Ce sont, par exemple,

- la restriction du mouvement des usagers dirigeant vers une route particulière
 - des dispositifs de guidage (design) attirant l'attention dans un vaste espace
 - la réduction des dimensions de l'espace
 - des instructions imprimés (plans, schémas)
 - des instructions audiales (annonces)
 - des instructions écrites (panneaux)
- (Elkady et Ismael, 2009)

Quelquefois un endroit peut disposer des instructions dont l'information (couleur, alphanumérique, icônes) est confondante. On peut y avoir même trop de signalétique. (Douglas, 1999) Le signalétique n'est alors pas le seul facteur sur lequel les usagers des aéroports peuvent se relier lorsqu'ils trouvent leur chemin autour du terminal. D'autres facteurs que les passagers utilisent pour atteindre leurs destinations comprennent les caractéristiques du design interne. (Fewings, 2001) Celles-ci sont mises en œuvre par de nombreux dispositifs architecturaux.

I.1.4 Architecture en tant qu'outil de *wayfinding*

Notre manière de déplacement dépend largement de l'environnement. Les différentes interventions du design stimulent alors des types particuliers de mouvement : il y existe des stratégies dans l'espace du terminal qui servent à déclencher des dispositions corporelles et émotionnelles à un niveau inconscient. Il y existe des « déclencheurs architecturaux », solutions pour diriger la mobilité des passagers qui fonctionnent d'une manière qui « ne nécessite pas de réflexion mais plutôt de prévoyance » (Adey, 2008). Par exemple, une étude a prouvé que les choix du parcours à l'intérieur de la station de métro de Shibuya étaient affectés par la largeur du champ de vision, le nombre de changements de direction à faire et la longueur des distances à parcourir (Jumpei Ueno *et al.*, 2012) Le design devient alors un outil pour guider les voyageurs vers la destination d'une manière plus efficace. Le chercheur Fewings, en décrivant le problème de *wayfinding* au sein du bâtiment de terminal aéroportuaire, introduit plusieurs facteurs sur lesquels se relie la qualité du guidage des usagers.

A l'intérieur des bâtiments, les variables architecturales qui aident à naviguer l'espace sont :

- l'accès visuel ;
 - la différenciation architecturale ;
 - les caractéristiques du design interne ;
 - la configuration du plan.
- (Fewings, 2001)

Accès visuel

Lorsqu'une personne essaie de trouver un service ou un endroit, ou tente de s'orienter dans un bâtiment, c'est plus facile de gérer s'il y a des points de repère associés à des zones spécifiques. En plus, l'orientation est facilitée s'il y a un accès visuel direct à l'emplacement vers lequel ils visent ; par exemple, les avions stationnés qui sont visibles lorsque les passagers entrent dans le terminal. Par conséquent, la mesure dans laquelle différentes parties du bâtiment peuvent être vues depuis d'autres parties du bâtiment peut avoir un effet direct sur la facilité d'orientation dans cet environnement. (Fewings, 2001)

Différenciation architecturale

La différenciation architecturale se produit lorsqu'une partie du bâtiment a l'air différent du reste. La capacité à reconnaître les lieux est affectée par la diversité des caractéristiques intérieures d'un bâtiment. Si la taille des éléments est variée ou le style architectural différencie les zones, l'orientation spatiale et wayfinding sont facilitées. Par exemple, les grands espaces des salons de départ des aéroports, après avoir traversé les couloirs au plafond bas de la sécurité et de l'immigration, indiquent au passager que leur destination finale a été atteinte. Elle induit également un sentiment de détente qui incite (si le temps le permet) le passager à dépenser de l'argent dans les zones commerciales de l'aérogare. (Fewings, 2001)

Dans l'aéroport de Copenhague, quand les contrôles de sécurité sont passés, pour entrer sur le côté piste du terminal la plupart des passagers choisissent de traverser la boutique *duty-free* plutôt qu'un corridor « caché » à côté. La boutique est l'entrée plus large, « évidente » et « attirante ». (Hernandez Bueno, 2021)

Dans le même aéroport, en arrivant vers la sortie de la boutique, l'espace s'ouvre grâce à la hauteur du plafond plus large. Le passager est capable de voir les panneaux placés plus loin depuis l'intérieur de la boutique en regardant de gauche à droite. Il voit dans quelle direction se trouve sa porte et continue son chemin dans cette direction. (Hernandez Bueno, 2021)

Eléments du design

Les gens ont également tendance à se déplacer naturellement vers des zones ouvertes et bien éclairées car cela leur donne un sentiment de sécurité et de détente. Lorsque des sièges, des clôtures ou des barrières sont fournis dans les bâtiments, leur position peut être située pour affecter subtilement les mouvements traversants (sièges utilisés pour créer un chemin artificiel que les gens peuvent suivre lorsque la direction du voyage pourrait autrement être incertaine). De même, les sièges et les barrières sont utilisés pour diriger les passagers arrivants quittant la douane et pour décourager quiconque, sauf les passagers partants, de s'approcher de la zone de sécurité.

Des voies de couleur ou d'autres formes de coordination chromatique peuvent également être utilisées afin de diriger le flux dans les terminaux d'aéroport pour guider, par exemple, les passagers vers les portes d'embarquement. Une palette de couleurs (notamment des lignes colorées) a été utilisée à l'aéroport de Luton pour guider les passagers dans des directions nécessaires. Malheureusement, lorsque le terminal a été agrandi, les lignes de couleurs n'étaient plus appropriées. (Fewings, 2001)

Configuration du plan

Dans les circonstances de la sécurité et de la commercialisation, l'architecture aéroportuaire exerce une grande influence et soumet les passagers à « une série de modèles clairement définis » par le plan du terminal. (Adey, 2008). Cette configuration du bâtiment, basée sur différents types de cloisons et sur la différenciation des passages, contribue à la facilité d'orientation des passagers. (Elkady et Ismael, 2009) Lorsqu'un bâtiment a une grille simple, un design circulaire ou symétrique, il devient plus facile d'y naviguer qu'un terminal d'aéroport typique. Le dernier est généralement construit par étapes afin de répondre à la croissance du trafic et qui, en même temps, doit répondre à différents types de flux (par exemple, domestique contre international). (Fewings, 2001)

La plupart des terminaux aéroportuaires sont conçus pour permettre aux passagers de passer d'une manière linéaire du check-in jusqu'à la zone des départs. C'est la technique de ne laisser « aucune option » aux usagers où les passagers sont « envoyés » vers la destination. Dans ce cas, les murs contraignent le flux des passagers tandis qu'il suit un chemin linéaire (Adey, 2008).

Lorsque l'espace comprend des corridors, les plans simples (soit des corridors branchés, soit des corridors en anneaux) offrent une meilleure intelligibilité spatiale et facilitent l'orientation. Suite à une étude récente sur la facilité d'orientation dans les hôpitaux (Yuan et Zhou,

2025), lorsque l'encombrement dû à la foule n'est pas pris en compte, les plans relativement simples aux corridors branchés (Fig. 1 Plan A) et aux corridors en anneaux (Fig. 1 Plan C) présentent une meilleure intelligibilité. Même en tenant compte de l'encombrement dû à la foule, ces deux plans conservent les valeurs d'intelligibilité les plus élevées. En revanche, les plans en anneaux multiples imbriqués plus complexes (Fig. 1 Plan D), présentent une intelligibilité plus basse. Cela signifie que la simplicité du plan, plutôt que son type (embranchements ou anneaux), est plus déterminante pour l'intelligibilité spatiale.

Table 3 Floor plans of the six selected ed cases with varying layout features.

Plan	Floor Plan	Circulation Analysis	Corridor Structure	Corridor Layout
Plan A				L-shaped branches
Plan B				U-shaped branches
Plan C				Parallel multi-ring
Plan D				Nested multi-ring + branches
Plan E				Nested multi-ring
Plan F				Pod layout

Figure 1. Plans des étages des hôpitaux sélectionnés pour la recherche. (Yuan et Zhou, 2025)

Egalement, une étude menée sur la configuration des plans muséales a prouvé que des passages complexes et allongés augmentent la charge cognitive et diminuent ainsi l'efficacité de la cognition. (Wang *et al.*, 2025) Aux aéroports en particulier, le design de type séquentiel linéaire est avantageux, car des vastes espaces font perdre la direction. La conception des zones séparées, chacune pour sa fonction, simplifie la compréhension générale. (Elkady et Ismael, 2009) Puis, en traversant des espaces séparés, un degré élevé de chevauchement – intelligibilité – entre les champs visuels d'un point de départ et d'un point de repère aide à l'orientation (Kalakou *et al.*, 2015). C'est là où on exerce le croisement du regard (*gaze-crossing*), une pratique incarnée, observée parmi les passagers et liée à l'intelligibilité spatiale et *wayfinding*. (Hernandez Bueno, 2021) L'amélioration de l'intelligibilité d'un système permet d'optimiser les processus de l'orientation dans un espace complexe.

I.2 Difficultés d'orientation

I.2.1 Sources des difficultés et manières d'amélioration

Dans le processus d'orientation dans les aéroports, les difficultés proviennent des différentes sources.

Composantes statiques

Le développement incontrôlé des aéroports amène aux difficultés d'orientation pour les utilisateurs. Par exemple, suite à une étude menée en 1966, une grande partie des passagers transitants par l'aéroport d'*Heathrow* étaient incertains de leur position dans l'aérogare et ne savaient pas où ils devraient aller. En 1974, l'aéroport de *Dallas Fort Worth* a été jugé si désorientant qu'il a immédiatement dû embaucher 34 agents de service pour diriger les passagers au sein du terminal. (Fewings, 2001) Dans un autre exemple, celui de la station de RER Châtelet - Les Halles à Paris, la salle d'échanges était pendant longtemps caractérisée par une forte désorientation. (*Réaménagement du pôle RER Châtelet - Les Halles*, 2009) Des obstacles aux surfaces courbes, efficaces en termes d'interruption et de diffusion des flux, posaient des problèmes de lisibilité et étaient alors désorientants. Pour clarifier les espaces voyageurs et assurer une meilleure lisibilité, un projet de réaménagement a été proposé en 2009 et réalisé en 2014. (*Ça change à Châtelet-Les Halles*, 2014)

Composantes dynamiques

Pas seulement les composantes statiques du bâtiment (telles que des murs et poteaux), mais aussi des foules en mouvement sont des sources d'obstruction dans des espaces de mobilité intense. (Yuan et Zhou, 2025) Une des pratiques observées parmi les usagers des aéroports est l'action de s'arrêter et d'attendre devant l'écran avant de poursuivre le parcours. Cela crée des « congestions temporelles » qui interrompent le flux venant des contrôles de sécurité et dégradent la visibilité de l'espace. Ces « îlots » invitent les autres à se rassembler et attendre ensemble et deviennent alors des architectures éphémères dans l'espace aéroportuaire en affectant l'intelligibilité de l'environnement. (Hernandez Bueno, 2021)

Afin d'optimiser l'expérience des usagers et l'efficacité opérationnelle, il est important d'assurer la lisibilité de l'environnement et des processus pour les usagers. Dans le contexte de la perception de l'environnement par l'utilisateur (et non pas celui de la surveillance par le personnel), l'implantation des dispositifs du *wayfinding* est indispensable afin d'assurer un voyage « sans accroc ». On s'adresse alors aux principes du *wayfinding* pour

voir comment leur prise en compte dans le design peut contribuer à l'amélioration de l'orientation dans les terminaux aéroportuaires.

I.2.2 Essais échoués d'amélioration post facto

Une pratique courante dans les aéroports est d'avoir recours aux principes de *wayfinding* tout comme à une solution *a posteriori*. (Fewings, 2001) En termes de la direction du mouvement, une étude menée dans une zone problématique de l'aéroport de Copenhague a prouvé que les interventions de design n'ont pas modifié les flux de passagers ni leurs pratiques. Deux types d'interventions de conception ont été mis en œuvre, notamment un ballon d'éclairage et des projections lumineuses dynamiques. L'objectif était de résoudre la difficulté des passagers de trouver la sortie à la réclamation des bagages et minimiser l'expérience négative et déroutante. Finalement, les interventions n'ont suscité aucun des comportements attendus : inviter les passagers à s'arrêter et lever les yeux ou les orienter vers la destination recherchée. Aucun changement n'a été observé en termes de flux des foules.

Les exigences aéroportuaires en matière de sécurité et d'exploitation ont compromis les intentions initiales des interventions de design de « résoudre » les défis opérationnels de l'aéroport. En conséquence, en raison de la complexité de l'organisation, les interventions n'ont pas été remarquées par les passagers. Elles n'ont alors pas créé de repère spatial ou d'invitation comme prévu et ont échoué à répondre aux soucis de la zone problématique en question dans la tentative de corriger les difficultés d'orientation. (Hernandez Bueno, 2022)

Les caractéristiques de l'espace bâti sont des variables indépendantes qui affectent les modèles de comportement des usagers. L'organisation spatiale du bâtiment exerce alors un impact sur la performance des usagers en *wayfinding* et cet effet doit être pris en compte dans la conception du projet architectural.

I.3 Syntaxe Spatiale pour l'analyse de *wayfinding*

Une recherche, présentée au 10ème Symposium International de la Syntaxe Spatiale (*International Space Syntax Symposium*), propose d'analyser la configuration de l'espace aéroportuaire à l'aide de la théorie de la Logique Sociale de l'Espace – la Syntaxe Spatiale (*the theory of the Social Logic of Space*). (Kalakou *et al.*, 2015) Pour mieux comprendre cette démarche, j'expliquerai ce qui est la Syntaxe Spatiale et ce qu'elle apporte à l'analyse de l'environnement construit.

I.3.1 Qu'est-ce que c'est la Syntaxe Spatiale ?

Afin d'explorer la relation entre la société et l'espace, une nouvelle méthode a été développée par Bill Hillier et ses collègues à l'University College de Londres (*University College London, UCL*) dans les années 1980. (Osman et Suliman, 2005) La méthode consiste en une procédure mathématico-graphique qui crée des nœuds et connexions entre eux dans des plans architecturaux. Ces informations sont ensuite converties aux données quantitatives et représentées à l'aide des *graphes de visibilité*, interprétés subséquentment par des chercheurs. Les différentes mesures que l'on peut obtenir et visualiser sur des graphes représentent différents paramètres d'un espace. Ce sont, par exemple, l'intervisibilité entre les zones, l'engagement des points dans un espace, distance entre eux, le total de changements angulaires dans un parcours etc., donc plusieurs composantes constituant le processus de *wayfinding*. Cet ensemble des méthodes sert alors non pas seulement à démontrer les paramètres objectifs de l'espace, mais aussi notre engagement intuitif avec lui. (Kalakou *et al.*, 2015)

Cette méthodologie a été largement appliquée sur les études liées à la conception de l'environnement piéton urbain, mais aussi en intérieur. Elle peut être effectuée sur la base des espaces non-occupés (Osman et Suliman, 2005) ou occupés (Yuan et Zhou, 2025). Par exemple, pour évaluer l'impact des foules en mouvement sur la visibilité, les scientifiques simulent le mouvement à travers un code, puis intègrent cet obstacle dans un environnement architectural et appliquent les mesures d'analyse de Syntaxe Spatiale à l'ensemble modélisé. (Yuan et Zhou, 2025)

Les avantages

La division des plans architecturaux dans des points liés par des connexions a de nombreux avantages pour des objectifs scientifiques. La procédure permet d'analyser facilement des espaces où on se déplace et anticiper les effets que des dispositifs architecturaux exercent sur la visibilité et l'accessibilité dans la vraie vie. (Varoudis et Psarra, 2014 ; Wang *et al.*, 2025 ; Zhong *et al.*, 2024) Cette façon de modéliser le mouvement dans un espace facilite la compréhension des flux des usagers : elle rationalise les possibilités de déplacement dans des endroits complexes et donne la possibilité de comparer les paramètres spatiaux entre plusieurs environnements architecturaux de la même typologie. (Jumpei Ueno *et al.*, 2012 ; Kalakou *et al.*, 2015 ; Van Der Hoeven et Van Nes, 2014 ; Yuan et Zhou, 2025) La transformation des plans dans des graphes permet également d'exercer des opérations mathématiques provenant de la théorie des graphes et de l'algèbre matricielle. Cela fournit des

données objectives concernant les qualités des espaces d'un bâtiment et permet de faire des prédictions sur l'occupation des zones. (Osman et Suliman, 2005)

Les inconvénients

Néanmoins, malgré les avantages liés à l'objectivité des données quantitatives, il y existe le risque de leur mésinterprétation subjective. Puis, l'usage du code binaire pour décrire le lien existant entre deux points (1 pour une connexion directe et 0 pour l'absence de connexion) néglige la connexion indirecte que les usagers peuvent quand même parcourir dans la vraie vie. (Osman et Suliman, 2005) Pour cette raison, dans plusieurs exemples fournis par les chercheurs Osman et Suliman les données obtenues grâce à la Syntaxe Spatiale devaient être corrigées suite à l'écart des observations réelles. En plus, il est impossible de prendre en compte le contexte culturel de l'usage de l'espace – le paramètre constituant un grand écart entre la société occidentale et orientale. L'ensemble de ses éléments constitue une limite de la méthodologie envisagée. Afin de l'atténuer, il est important de compléter l'analyse de la Syntaxe Spatiale avec des méthodes sociologiques, comme des observations *in situ*, des enquêtes etc. Cela permettrait de prendre en compte les aspects psychologiques de la perception de l'espace, comme c'était fait dans le travail du chercheur Kalakou et ses collègues pour le cas d'un aéroport portugais (Kalakou *et al.*, 2015), ou Wang et ses collègues pour les cas de quatre musées chinois (Wang *et al.*, 2025). Il faut ajouter que dans ce dernier travail, contrairement aux craintes des critiques de la méthodologie, les résultats de la simulation de la Syntaxe Spatiale s'alignent avec les statistiques sur le flux des visiteurs du site.

I.3.2 Qu'est-ce que c'est des Graphes de Visibilité ?

L'outil indispensable dans l'investigation des relations visuelles et physiques dans une configuration spatiale est la production des *graphes de visibilité*, largement déployés dans les recherches abordant la Syntaxe Spatiale. Cet outil graphique permet de visualiser la connectivité et les interrelations des espaces. (Varoudis et Psarra, 2014) Chaque point défini dans un plan architectural a sa valeur d'une mesure caractérisant ses propriétés spatiales (comme, par exemple, nombre de connexions avec les autres points, déviation angulaire jusqu'à l'autre point, etc.). Ces points sont ensuite représentés en tant que pixels sur le plan envisagé. La couleur de chaque pixel correspond à la valeur de ce point par rapport à la gamme des valeurs dans l'espace analysé. Tout l'ensemble constitue un plan aux aplats de couleurs qui permet de visualiser à la fois les

caractéristiques des différentes zones du plan en question. Par exemple, les zones rouges possèdent une connectivité élevée, tandis que les zones bleues sont ségréguées et mal connectées. C'est aussi une astuce pratique pour prévoir la distribution des piétons et analyser des prototypes des projets architecturaux. (Zhong *et al.*, 2024)

I.3.3. Mise en pratique aux espaces de mobilité

L'application des méthodes décrites ci-dessus a du potentiel pour évaluer et améliorer la performance des espaces de mobilité. D'après un des exemples, Hoeven et Nes visaient à améliorer l'orientation et la visibilité dans deux stations de métro à Bruxelles en utilisant la Syntaxe Spatiale dans le processus de reconfiguration. (Van Der Hoeven et Van Nes, 2014) La séquence du travail était la suivante :

1. cartographie de l'espace urbain souterrain ;
2. réalisation des analyses de visibilité et d'axes de mouvement ;
3. évaluation des résultats ;
4. reconfiguration des plans d'étage ;
5. réanalyse des plans d'étage améliorés ;
6. comparaison des plans d'étage originaux et améliorés.

Selon les résultats de la recherche, la Syntaxe Spatiale peut être efficacement déployée dans l'exploration et évaluation du *wayfinding* des usagers, et de la visibilité dans l'espace urbain souterrain. Grâce aux graphes de visibilité créés pour plusieurs paramètres de la Syntaxe Spatiale [Fig. 2, 3], les chercheurs ont même pu remarquer le potentiel des certaines zones non-déployées. Ils ont finalement extrait des consignes concrètes pour améliorer la configuration spatiale et *wayfinding* pas seulement dans les stations de métro analysées, mais aussi pour cette typologie en général.

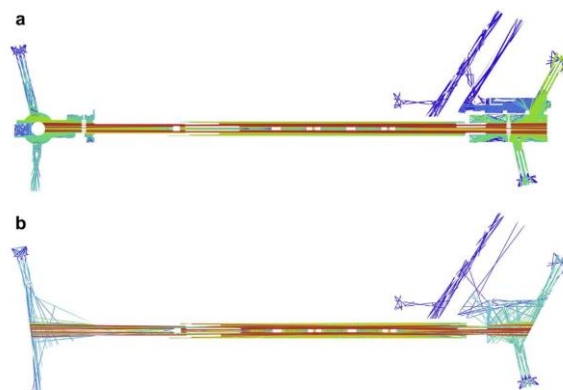


Fig. 9. (a and b) Axial analysis of the Bockstael metro station.

Figure 2. Représentation des valeurs de connectivité pour la station de métro Bockstael à Bruxelles. (Van Der Hoeven et Van Nes, 2014)

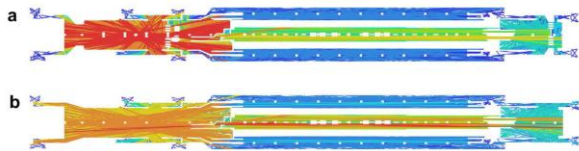


Fig. 10. (a and b) Axial analysis of the Anneessens premetro station.

Figure 3. Représentation des valeurs de connectivité pour la station de métro Anneessens à Bruxelles. (Van Der Hoeven et Van Nes, 2014)

Dans le cas de l'architecture muséale les questions de déplacement et d'orientation sont d'une aussi grande importance. L'analyse effectuée par le chercheur Xiang Wang et ses collègues, a fourni des connaissances sur le rapport entre la configuration des plans des quatre musées [Fig. 4] et **les mesures spatiales** de la Syntaxe Spatiale. Par exemple, des corridors linéaires et des grandes espaces ouverts (*Suzhou Museum*) présentent **la connectivité** la plus élevée, tandis qu'une typologie de matrice (*China Academy Museum*) démontre **la connectivité** la plus basse, mais une **intégration** relativement élevée. Cela indique que ces deux mesures ne sont pas positivement corrélées. Néanmoins, la profondeur du pas visuel, qui est la même dans les deux musées [Fig. 5], indique que **la connectivité** et **l'intégration** ne sont pas inversement proportionnelles non plus. (Wang *et al.*, 2025)

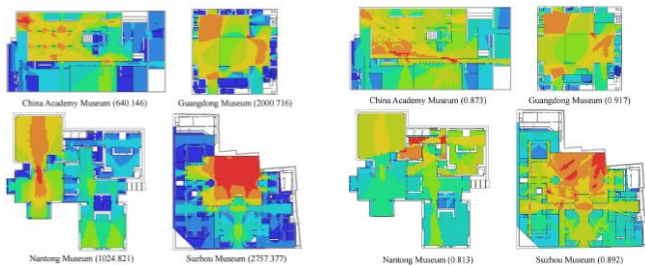


Figure 4. Comparaison entre la connectivité et l'intégration dans les plans des 4 musées analysés. (Wang *et al.*, 2025)

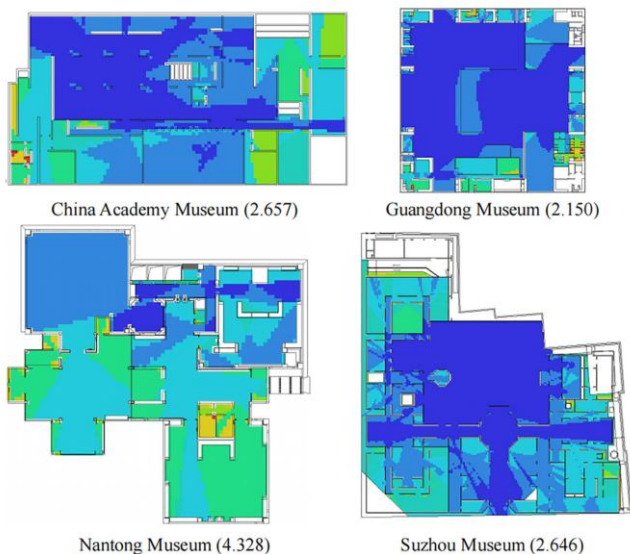


Figure 5. Comparaison de la profondeur du pas visuel dans les plans des 4 musées analysés. (Wang *et al.*, 2025)

Revenant au cas aéroportuaire, le but du chercheur Kalakou était d'analyser et évaluer le plan du bâtiment et les conséquences qu'il apporte aux perceptions et choix des usagers du terminal. Après avoir effectué une analyse de graphes de visibilité [Fig. 6], quatre variables ont été comparées : connectivité, intégration, intelligibilité et synergie du terminal. Les données ont été traitées ensemble avec l'enquête sur les profils personnels et les choix des usagers. Il a été conclu que la Syntaxe Spatiale peut contribuer à l'explication des choix et démontrer les alternatives plus accessibles ou mieux connectées. Cela veut dire que, vu que les résultats fournis par la méthode de la Syntaxe Spatiale corrélaient avec le comportement réel des usagers et les données de l'enquête, La recherche envisageait l'impact de la configuration spatiale sur les choix des visiteurs en termes d'activités non-aéronautiques, parmi lesquelles ils peuvent se déplacer librement à leur propre volonté.

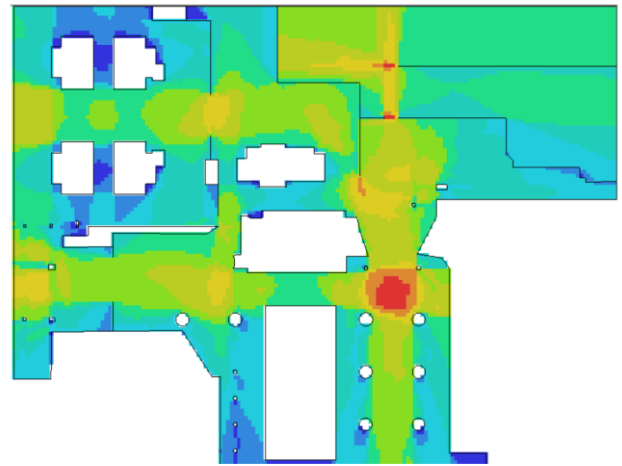


Figure 6. Carte de connectivité créée pour effectuer l'analyse de graphe de visibilité (VGA). (Kalakou *et al.*, 2015)

L'importance des différentes mesures de la Syntaxe Spatiale, qui ont été prouvées non-corrélées, est à voir avec les fonctions de l'espace en question. Il faut prendre en compte que les dispositifs favorables pour les visiteurs dans un musée ne répondent pas aux exigences d'efficacité dans un aéroport. Par exemple, des espaces ouverts contribuent à la dispersion des visiteurs, ce qui est bénéfique pour une exposition mais problématique pour la gestion du flux dans un terminal. D'ailleurs, la future recherche pourrait appliquer et ajuster la méthodologie envisagée aux activités aéroportuaires, où le déplacement des usagers n'est pas aléatoire, mais orienté vers la destination recherchée.

II Etude sur l'exemple d'un espace aéroportuaire

II.1 Point de départ

II.1.1 Problématique

Dans l'état de l'art on a identifié une absence de questionnement dans le sujet de l'application des méthodes de la Syntaxe Spatiale pour faciliter l'orientation des utilisateurs dans les espaces aéroportuaires. Cependant, d'après la bibliographie étudiée, elles ont du potentiel pour devenir un outil indispensable au moment de la conception d'un bâtiment aussi large et complexe qu'un aéroport. On a alors besoin de savoir dans quelle mesure les différents outils de la Syntaxe Spatiale sont fiables dans l'estimation des zones problématiques pour l'orientation spatiale des passagers dans un terminal aéroportuaire.

D'où vient la problématique suivante :

Les outils de la Syntaxe Spatiale peuvent-ils repérer les difficultés d'orientation dans un espace aéroportuaire ?

II.1.2 Hypothèses

La méthodologie choisie servira à vérifier les hypothèses suivantes :

1. Par la combinaison des mesures de la Syntaxe Spatiale, il est possible de repérer un indice objectif de difficulté d'orientation dans un espace aéroportuaire;
2. La combinaison des mesures comprenant le sens du mouvement (du point A au point B) est plus efficace que celle qui démontre les qualités du point par rapport à l'ensemble de tous les autres points de l'espace.

II.1.3 Méthode de recherche

Pour répondre à la problématique, une analyse *in situ* du point de vue de *wayfinding* et ensuite des outils de la Syntaxe Spatiale vont être appliquées au terrain d'études existant. Les observations ressenties vont être prises comme variable connue, le repère principal. Pour les raisons de l'accessibilité des méthodologies, dans ce travail on se limitera à l'étude des composantes statiques et pas dynamiques dans l'environnement d'orientation. Le terrain d'études sera analysé en tant qu'espace non-occupé. La configuration spatiale d'une partie du terminal sera analysée à travers l'Analyse des Graphes Visuels (*Visual Graph Analysis, VGA*) dans le

logiciel *depthmapX*. Afin de créer des graphes de visibilité, l'espace entier sera divisé dans des cellules dimensionnées en fonction de la zone occupée par une personne (0,5 x 0,5m d'après la largeur du corps humain).

Plus précisément, dans ce travail on va avoir recours aux méthodes suivantes :

Etape 1 : étude du lieu

- 1.1. Observations subjectives des zones de l'aéroport à travers le parcours du point de vue du passager partant et arrivant, définition de sites problématiques à étudier dans le travail. Repérage des lieux problématiques à l'orientation du point de vue du passager dans l'Aéroport Roissy-Charles-de-Gaulle (CDG), Terminal 2B comme l'aéroport d'étude ;
- 1.2. Reconstitution du plan de l'espace où le problème a été observé : création des plans schématiques de ces zones à partir des plans d'évacuation consultés sur site et du matériel photographique.

Etape 2: recueil et traitement des données

- 2.1. Importation du plan au logiciel d'analyse *depthmapX* ;
- 2.2. Graphs de visibilité produits à l'aide du logiciel *depthmapX* pour des plans créés, où les gradations de couleur démontreront les zones problématiques ;
- 2.3. Récupération des mesures de la *Syntaxe Spatiale* caractérisant les points de cet espace ;
- 2.4. Essais de leurs différentes combinaisons dans les calculs.

Etape 3 : analyse et développement des résultats

- 3.1. Analyse de la conformité des différents graphs créés par rapport au problème observé in situ : comparaison analytique des observations expérimentées sur place et des données traitées. Vérification si la zone problématique détectée peut être prouvée par l'analyse des plans avec des outils scientifiques ;
- 3.2. Comparaison analytique des différentes méthodes d'analyse utilisées, approbement ou désapprobement des hypothèses.

Difficulté observée

Plusieurs zones confondantes ont été repérées au long de mon parcours du passager sortant, aussi bien que passager arrivant dans le Terminal 2B de Paris-CDG [Annexe 1]. Dans les observations effectuées sur le chemin jusqu'à la zone d'embarquement, c'était, par exemple, la confusion dans la recherche de la zone d'embarquement lors de la sortie de la zone *Duty-Free*. Dans le parcours inverse, lors de l'arrivée dans un énorme hall depuis l'avion, c'était difficile de s'orienter vers la descente pour la zone des bagages. Finalement, une zone a été sélectionnée pour effectuer la recherche qui suit : elle comprend la difficulté de trouver les escalateurs (la destination B) depuis la sortie de la zone des bagages (le point de départ A). [Fig. 9] [Annexe 2] Le choix a été fait selon la taille de l'espace, l'efficacité de sa représentation sur un plan informatique, et la présence des points concrets de départ et de destination.

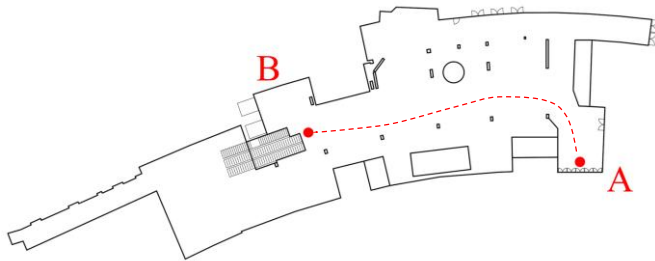


Figure 9. Plan de la zone analysée [fait par l'auteur d'après des plans d'évacuation consultés sur place].

Il faut néanmoins mentionner que mes observations faites sur place sont de nature subjective. Dans le cas d'une autre recherche, afin d'obtenir des valeurs plus généralisées sur l'expérience des usagers *in situ*, une enquête sociologique aurait été favorable.

II.2.2 Le logiciel d'analyse

Lors de l'importation du plan d'un espace dans le logiciel *depthmapX*, il est possible de calculer une variété des mesures qui caractérisent les points de cet espace. Chacune d'entre elles correspond à un différent instrument d'analyse de l'espace au sein de la *Syntaxe Spatiale*. La surface du plan importé est discrétisée en unités spatiales uniformes (qu'on va appeler « pixels »), dont la taille en mètres est définie par l'utilisateur. [Fig. 10, 11, 12] Leur taille peut être ajustée : plus petits sont les pixels, plus le niveau de précision est élevé.

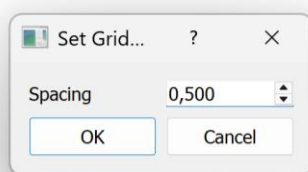


Figure 10. Mise en place de la grille divisant l'espace en pixels.

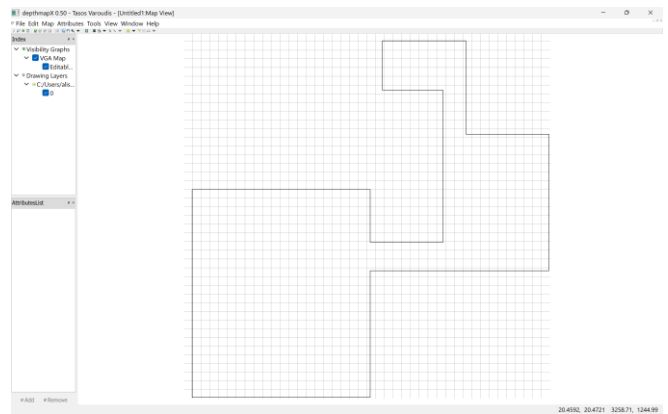


Figure 11. L'espace d'essai divisé en pixels de 0,5x0,5m de largeur.

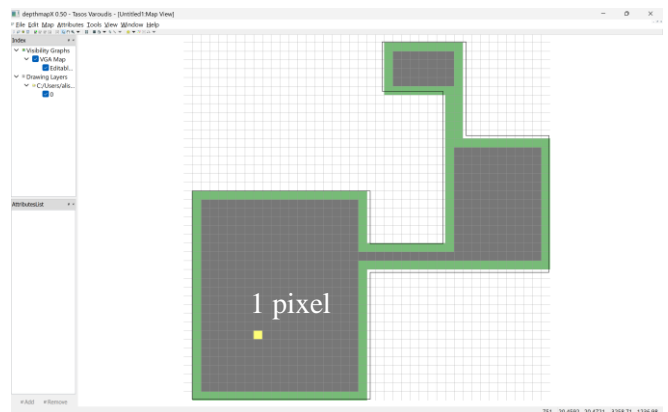


Figure 12. Représentation d'un pixel sur le plan d'essai.

Les valeurs des mesures quantitatives (nombres de connexions) seront comptées entre ces pixels. Les valeurs de la distance seront mesurées entre les centres de ces pixels. Finalement, les valeurs de chaque mesure, calculées pour chaque pixel créé [Fig. 13], seront représentées sur un graphe de visibilité [Fig. 14] aussi bien que dans un tableau contenant l'information sur chaque pixel [Fig. 15, 16]. La coloration de chaque pixel se fait d'une façon proportionnelle dans une échelle de couleur (bleu - rouge) entre les valeurs minimum et maximum de l'espace étudié.

Etant donné la forme irrégulière du plan analysé, un défaut qui apparaît est la présence des emplacements créés sur les bords du plan. Ce sont les endroits où plus que la moitié d'un pixel de la grille rentre dans l'espace d'analyse, mais un homme n'aurait pas pu s'installer. Je peux éviter les conséquences de ce défaut en retirant manuellement certains points d'analyse créés par le logiciel qui ne me conviennent pas.

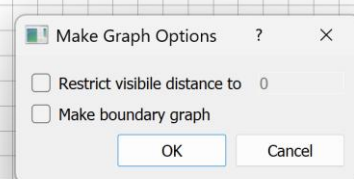


Figure 13. Onglet de la création d'un graphe de visibilité.

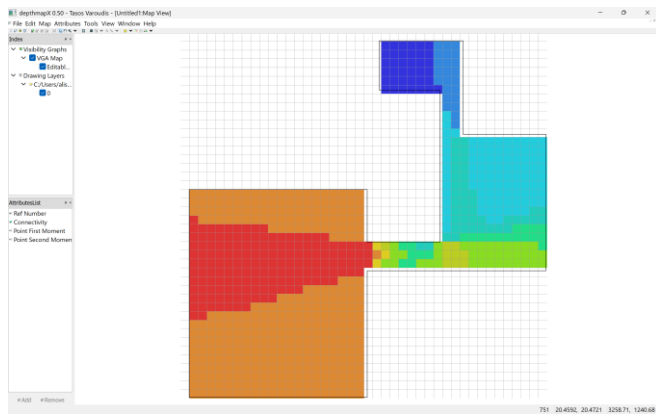


Figure 14. Exemple d'un graph de visibilité pour la mesure de connectivité pour les pixels de 0,5x0,5m de largeur

Ref Number	Connectivity	Point First Moment	Point Second Moment
720914	14	37 0778	115
720915	14	33 8713	100
786450	14	29 1320	70
851986	14	26 4296	70
720916	15	42 0778	140
786451	15	29 0591	68
786452	15	33 3765	88
851987	15	32 4502	48
851988	18	56 4391	331
983057	25	112 465	653
983060	25	124 119	905
983056	26	123 989	725

Figure 15. Extrait du tableau des valeurs de connectivité.

Attribute Properties			
Name (column locked and cannot be edited)			
Connectivity			
Values			
	Value	Attribute	Selection
1	Average	399.345	No Value
2	Minimum	53	No Value
3	Maximum	562	No Value
4	Std Dev	153.763	No Value
5	Count	751	0
6	< 103.900000	37	No Value

Figure 16. Extrait du tableau des valeurs de connectivité.

J'obtiens aussi un tableau des valeurs pour les points dont chacun a un nombre de référence [Fig.], aussi bien qu'un récapitulatif des valeurs de la mesure calculée. [Fig.]. Les valeurs de tous les pixels pourront ensuite être exportés dans un fichier .csv (*Comma Separated Values*), ce qui permettra leur futur traitement.

Je peux ensuite choisir la colorimétrie du graph de visibilité afin de représenter les résultats de la manière la plus lisible. Dans les onglets *Window – Colour Range* j'ai choisi le mode *depthmapX Classic* [Fig. 17] qui représente les valeurs des pixels en gradient des couleurs. [Fig. 18]

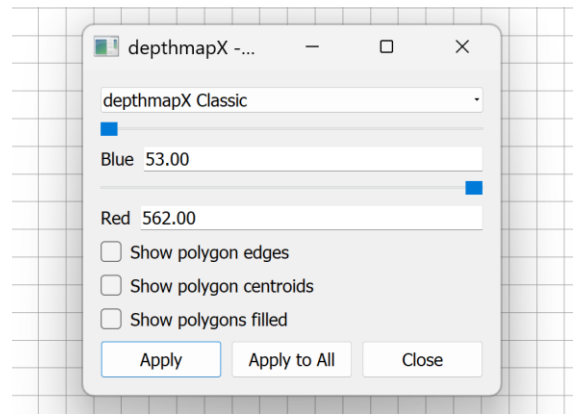


Figure 17. Sélection du mode d'affichage des valeurs.

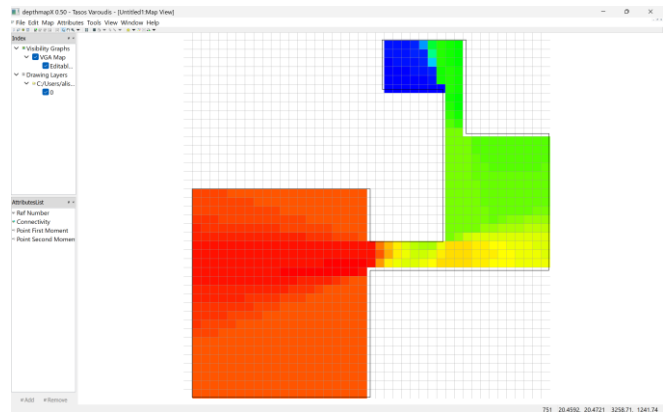


Figure 18. Visualisation du graph en mode *depthmapX Classic*.

Le graph de visibilité créé peut finalement être exporté en tant que l'image [Fig. 19] à travers des commandes *Edit – Export screen – .eps* (*Encapsulated Postscript*). C'est un format de fichier vectoriel, qui peut ensuite être converti aux autres formats d'image, comme .jpeg ou .png dans des convertisseurs disponibles en ligne.

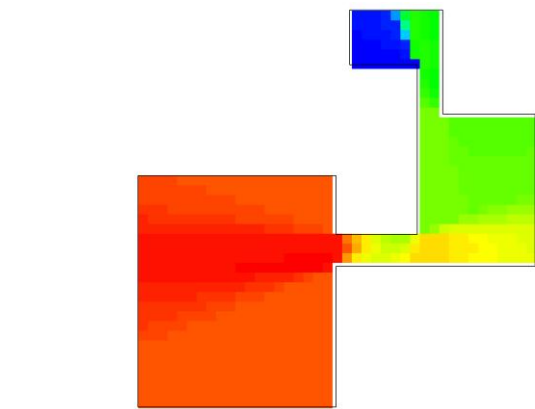


Figure 19. Image exportée, convertie en format .jpeg.

Le chapitre à venir est constitué de la description des mesures principales que l'on peut récupérer à partir de *depthmapX* et de leurs valeurs, représentés sur les graphes de visibilité relatifs. La signification de ces mesures pour les passagers dans les conditions de déplacement dans un espace est aussi expliquée ci-dessous. C'est la combinaison des ces mesures de base qui aboutira au résultat de cette recherche.

II.2.3 Introduction aux instruments de la Syntaxe Spatiale

Mode d'emploi pour lire le tableau des instruments

Je présente ci-dessous la structure du tableau de la section III.2.4 « Les instruments de la Syntaxe Spatiale ». Cet exemple sert à mieux comprendre la façon dont je décris les caractéristiques des différentes mesures de la Syntaxe Spatiale. Elles seront ensuite utilisées dans ma recherche.

Connectivité – C (Connectivity)

Type de mesure : point n – l'ensemble des autres points

Valeur : nombre de liens directs du point n dans l'espace

Graph de visibilité représente : valeurs de chaque point, exprimés en gradient de couleur [Fig. b]

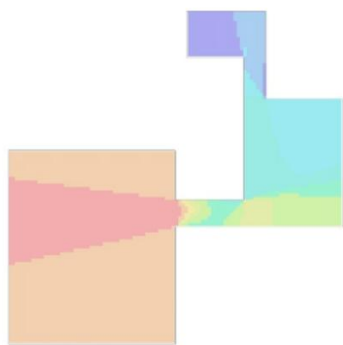


Figure b. Graph représentant la connectivité dans un espace d'exemple [fait par l'auteur dans depthmapX]

Comment lire le graph :

C basse

ce point a moins de liens directs avec les autres points

C élevée

ce point a plus de liens directs avec les autres points

Interprétation pour l'utilisateur in situ : la quantité d'espace visible, donc accessible directement depuis une position. Quel nombre de positions est visible au passage depuis sa position n à un moment donné, lorsqu'il regarde autour. Identiquement : depuis quel nombre de positions dans l'espace le passager va voir le point n, donc va savoir que le point n est accessible. Le potentiel d'accès direct.

« Si je me trouve dans le point n et que j'observe tout l'espace autour, je sais que je peux accéder à C autres points »

ou aussi bien :

« Le point n est visible depuis C autres points »

nom de la mesure et son symbole conventionnel

comment la valeur d'un pixel a été calculée (les deux options sont expliquées dans la section suivante)

qu'est-ce que nous indique le chiffre de la valeur

qu'est-ce qu'on peut lire dans le graph de visibilité

graph de visibilité fait pour un plan d'essai, représentant les valeurs de la mesure en question pour les points de ce plan

comment on peut lire le graph : qu'est-ce que signifient les valeurs basses et élevées

quel est le sens de la mesure du point de vue de l'utilisateur : quelle expérience vécue in situ elle permet de décrire (ce sens sera utilisé ensuite dans la constitution des formules d'analyse, afin de combiner les mesures dans une certaine logique)

exemple plus concret et explicite du point de vue de l'utilisateur

Explication de la case « Type de mesure »

Les instruments de la Syntaxe Spatiale employés dans ce travail constituent des mesures de deux types :

- point n – l'ensemble des autres points
- point n – point A,

dont la différence se trouve dans la manière d'obtenir la valeur représentée. Dans la classification de ces deux types, « point n » signifie n'importe quel point choisi – chaque point pour lequel on peut obtenir la valeur d'une mesure et la représenter en tant qu'un pixel sur le graph de visibilité qui correspond à ce point.

« Point A » signifie un point de référence choisi manuellement pour effectuer le calcul de certaines mesures (le point de départ ou le point de destination, par exemple). Chaque pixel du graph de visibilité dans ce cas représente la valeur depuis son point correspondant jusqu'au point A, le même pour toutes les valeurs représentées dans le graph. Les sens des deux types des mesures sont alors les suivants :

- point n – l'ensemble des autres points

Somme des valeurs calculées pour les paires du point n avec chaque autre point possible dans le système. Cette valeur est calculée pour chaque point du système et représentée en tant qu'un pixel coloré selon sa valeur.

- point n – point A

La valeur est calculée pour la paire du point n avec le point A. Cette valeur est calculée pour chaque point du système, puis représentée avec un pixel coloré selon sa valeur et correspondant à l'emplacement à partir duquel le lien avec le point A a été fait.

Choix de certaines mesures

Le logiciel *depthmapX* propose la mesure de **l'Angle du chemin** (*Metric Step Shortest – Path Angle*). D'après les informations fournies par *depthmapX Researcher's Handbook*, elle présente une combinaison de la **Profondeur du pas angulaire** (PA) et du **Longueur du chemin** (L) et ajoute une valeur calculée d'après chaque détour fait sur le chemin. Cette combinaison doit être très utile pour avoir une moyenne entre la déviation angulaire et la distance, car en déplacement on n'aime ni grand nombre de détours, ni chemins trop longs. Cette mesure hybride se rapproche alors du processus humain de *wayfinding*, on peut choisir un chemin plus long et droit plutôt que plus court aux plusieurs changements de direction. Cependant, selon un essai effectué sur l'exemple du plan étudié, il s'est avéré que la mesure proposée ne représente pas suffisamment les changements en distance [Annexe 3]. Alors la déviation angulaire et la distance ont été prises à la place et combinées manuellement dans les calculs suivants.

II.2.4 Les instruments de la Syntaxe Spatiale

Connectivité – C (Connectivity)

Type de mesure : point n – l'ensemble des autres points

Valeur : nombre de liens directs du point n dans l'espace [Fig. 20]

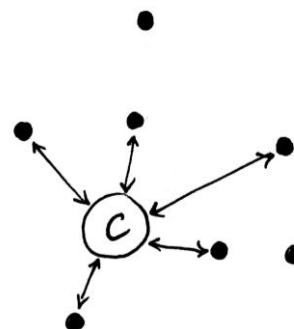


Figure 20. Schéma explicatif de la connectivité.

Grappe de visibilité représente : valeurs de chaque point, exprimés en gradient de couleur [Fig. 21]

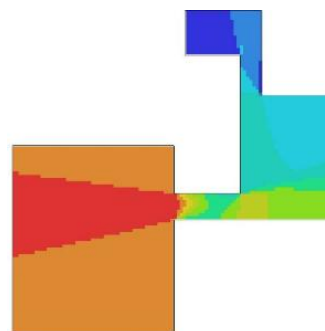


Figure 21. Grappe représentant la connectivité dans un plan d'essai. [fait par l'auteur dans *depthmapX*]

Comment lire le graphe :

C basse

ce point a moins de liens directs avec les autres points

C élevée

ce point a plus de liens directs avec les autres points

Interprétation pour l'utilisateur in situ : la quantité d'espace visible, donc accessible directement à partir d'une position. Quel nombre de positions est visible au passage depuis sa position n à un moment donné, lorsqu'il regarde autour. Identiquement : depuis quel nombre de positions dans l'espace le passager va voir le point n, donc va savoir que le point n est accessible. Le potentiel d'accès direct.

« Si je me trouve dans le point n et que j'observe tout l'espace autour, je sais que je peux accéder à C autres points »

Intégration – I (Integration)

Type de mesure : point n – l'ensemble des autres points

Valeur : somme des nombres de déplacements jusqu'au point n depuis chaque autre point (la *profondeur du pas visuel* depuis le point n vers les autres points) [Fig. 22]

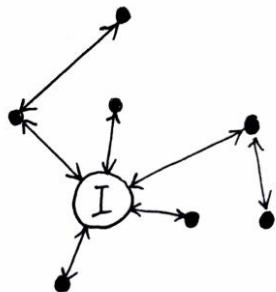


Figure 22. Schéma explicatif de l'intégration.

Graphe représente : valeurs de chaque point, exprimés en gradient de couleur [Fig. 23]

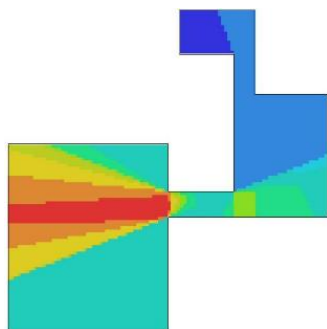


Figure 23. Graphe représentant l'intégration dans un plan d'essai. [fait par l'auteur dans *depthmapX*]

Comment lire le graphe :

I basse

plus de déplacements à faire depuis l'ensemble de tous les autres points du système pour accéder à ce point

I élevée

moins de déplacements à faire depuis l'ensemble de tous les autres points du système pour accéder à ce point

Interprétation pour l'utilisateur in situ : la facilité de trouver le point n dans le système, prenant en compte tous les déplacements à faire. On l'appelle aussi la visibilité dynamique des points par rapport au système.

« Si je veux accéder au point n, I est la somme du nombre des déplacements que j'aurais faits à partir de chaque autre point de l'espace autour »

Profondeur du pas visuel – PV (Visual step depth)

Type de mesure : point n – point A

Valeur : nombre de connexions visuelles à passer depuis le point de départ A pour remarquer le point n, peu importe la distance [Fig. 24]

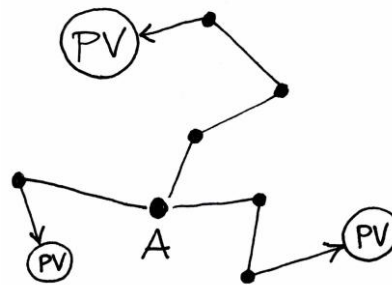


Figure 24. Schéma explicatif de la profondeur du pas visuel.

Graphe représente : valeur de chaque point par rapport au point de départ A, exprimé en gradient de couleur pour le nombre de « sauts de vision » (de 1 à 4 dans l'exemple) [Fig. 25]

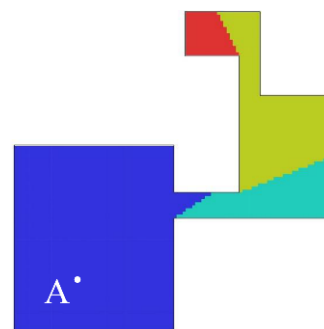


Figure 25. Graphe représentant la profondeur du pas visuel dans un plan d'essai. [fait par l'auteur dans *depthmapX*]

Comment lire le graphe :

PV basse

Ce point se trouve dans 1 connexion visuelle à partir du point A

PV élevée

Ce point se trouve dans 4 connexions visuelles à partir du point A

Interprétation pour l'utilisateur in situ : difficulté de remarquer un point dans l'espace. Combien de « sauts de vision » doit-il faire depuis le départ A jusqu'à ce qu'il remarque l'autre point n dans l'espace La mesure décrit la difficulté de remarquer les points dans un espace, comme une isoviste cumulative depuis le point de départ – une expression de la visibilité en mouvement.

« Pour trouver le point n en partant du point A, PV est le nombre de connexions visuelles qu'il faut traverser avant de le remarquer »

Profondeur du pas angulaire – PA (Angular step depth)

Type de mesure : point n – point A

Valeur : cumulation de déviations angulaires à faire sur le chemin jusqu’au point n depuis le point de départ A, peu importe la distance [Fig. 26]

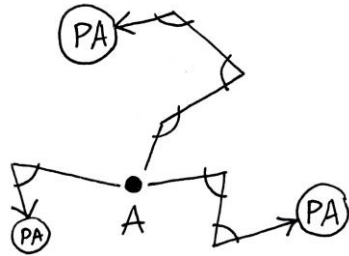


Figure 26. Schéma explicatif de la profondeur du pas angulaire.

Graphe représente : valeur de chaque point, calculée par rapport au point de départ A, exprimée en gradient de couleur pour la somme de changements de direction sur le chemin A – n [Fig. 27]

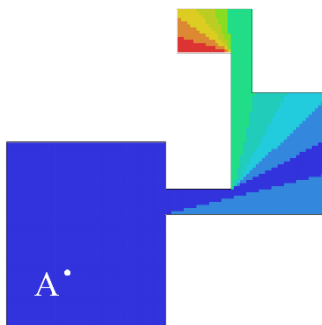


Figure 27. Graphe représentant la profondeur du pas angulaire dans un plan d’essai [fait par l’auteur dans *depthmapX*]

Comment lire le graphe :

PA basse

aucun virage à faire à partir du point A pour accéder à ce point

PA élevée

plus de virages à faire à partir du point A pour accéder à ce point

Interprétation pour l’usager in situ : combien de changements de direction il faut faire dès le départ pour arriver à un autre point dans l’espace.

« Si je veux accéder au point n depuis le point A, PA est la déviation angulaire totale durant mon chemin »

Longueur du chemin – L (Metric Step Shortest – Path Length)

Type de mesure : point n – point A

Valeur : distance la plus courte à parcourir pour accéder au point n depuis le point de départ A, exprimée en mètres [Fig. 28]

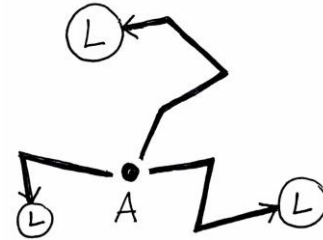


Figure 28. Schéma explicatif de la longueur du chemin.

Graphe représente : valeur de chaque point, calculée par rapport au point de départ A, exprimée en gradient de couleur pour la variété des distances [Fig. 29]

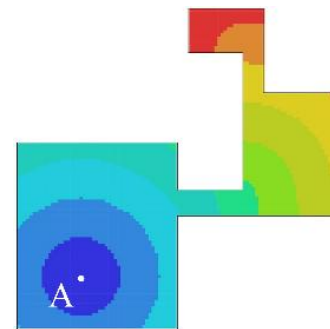


Figure 29. Graphe représentant la longueur du chemin dans un plan d’essai [fait par l’auteur dans *depthmapX*]

Comment lire le graphe :

L basse

parcours plus court jusqu’à ce point depuis le point A

L élevée

parcours plus long jusqu’à ce point depuis le point A

Interprétation pour l’usager in situ : distance la plus courte jusqu’à chaque point n depuis le point A, prenant en compte tous les obstacles.

« Si je veux accéder au point n depuis le point A, L est la distance que je dois parcourir »

II.2.5 Combinaison des instruments

Les instruments de mesure envisagés, fournis par le logiciel *depthmapX*, m'ont paru pas suffisants pour pouvoir détecter le problème d'orientation d'un point vers un autre. J'ai décidé alors de les reprendre en tant que mesures de base et combiner dans de nouveaux calculs, afin de trouver la manière d'analyse la plus appropriée au problème en question, notamment l'orientation depuis le point de départ A vers le point de destination B. [Fig. 31] Les calculs composés pour effectuer cette recherche suivent une certaine logique de la perception de l'espace par l'utilisateur, expliquée ensuite dans la description de chaque combinaison créée.

Chaque mesure de base, récupérée à partir de *depthmapX*, décrit soit les propriétés d'un point par rapport au système (*Connectivité*, *Intégration*), soit les propriétés d'une relation entre deux points (*Profondeur du pas visuel*, *Profondeur du pas angulaire*, *Longueur du chemin*). Les réflexions sur ce que chacune d'entre elles pourrait signifier pour l'utilisateur soumis au parcours en question ont abouti aux trois calculs intermédiaires et deux calculs finaux. [Fig. 30] J'ai commencé par la constitution des mesures intermédiaires à partir des mesures de base, chacune à son propre objectif.

Premièrement, la combinaison de la *Connectivité* et de l'*Intégration* pour obtenir la valeur de l'*Intelligibilité* [1] – la lisibilité d'un point dans l'espace. Cette caractéristique générale de chaque pixel décrit sa lisibilité relative par rapport à l'espace entier, car les deux mesures combinées sont du type : « point n – l'ensemble des autres points ». Les deux calculs intermédiaires réunissent la *Profondeur du pas visuel*, la *Profondeur du pas angulaire*, et la *Longueur du chemin* pour obtenir des résultats de la difficulté d'atteindre des points. Ces trois mesures sont du type « point n – point A ». Le calcul intermédiaire [2] fournit une valeur pour chaque pixel (point n), calculée par rapport au point A défini. Le calcul intermédiaire [3] fournit une valeur pour chaque pixel (point n) dans l'espace, calculée par rapport au point B défini.

Finalement, les deux calculs finaux relient la valeur de l'*Intelligibilité* de chaque pixel (point n) avec la valeur caractérisant son lien avec un point choisi (A ou B). Le calcul [4] envisage une accessibilité élevée du point n comme un facteur qui diminuerait la difficulté de l'atteindre à partir du départ défini (A), par contre le calcul [5] envisage une accessibilité élevée du point n comme un facteur qui aggraverait la difficulté d'atteindre la destination définie (B) à partir de lui.

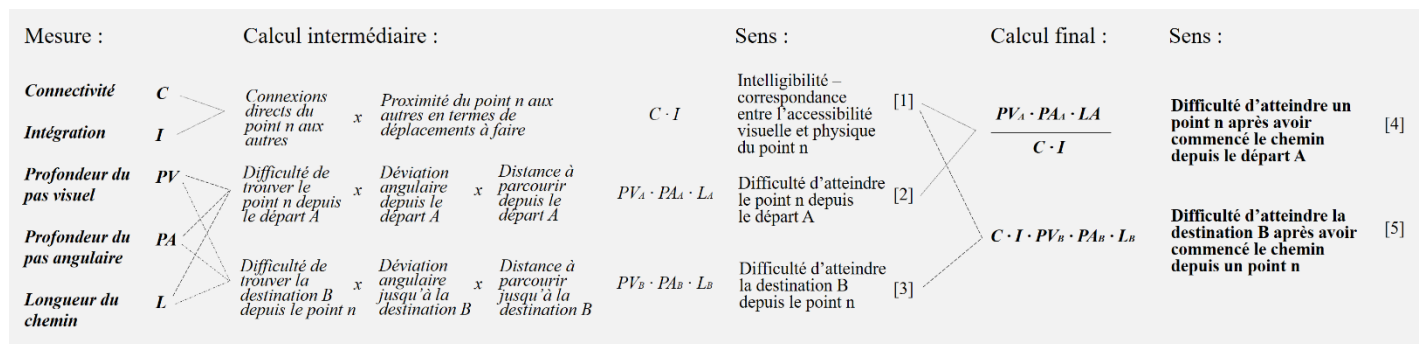


Figure 30. Combinaisons des instruments de la *Syntaxe Spatiale* employées dans la recherche.

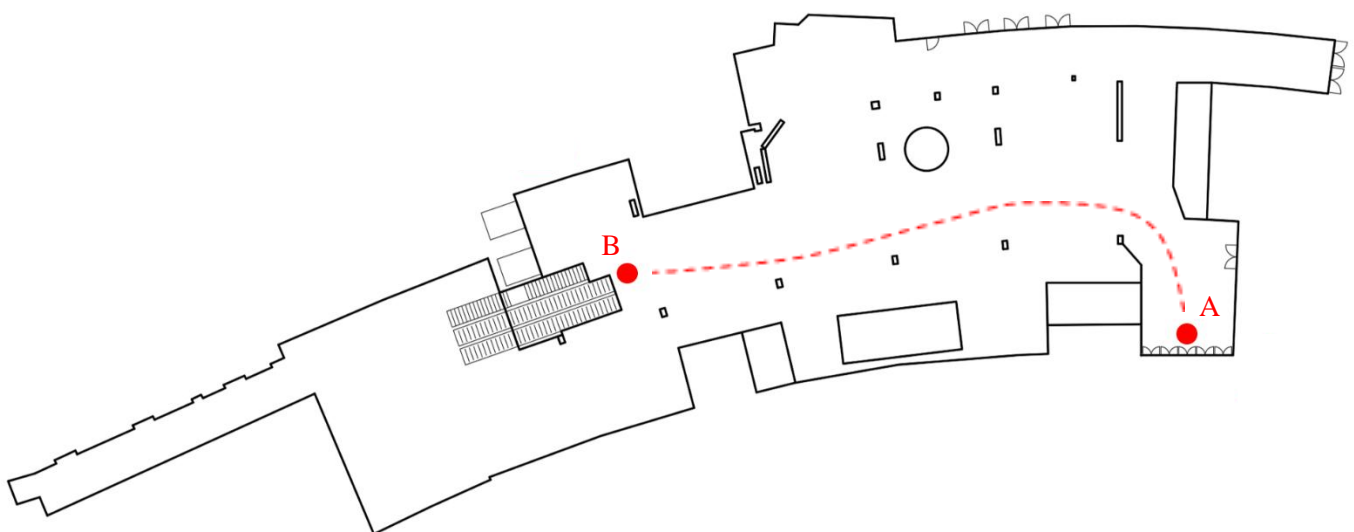
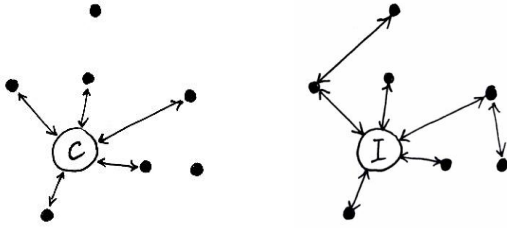


Figure 31. Parcours à partir du point de départ A jusqu'au point de destination B. [plan fait par l'auteur dans *Autocad*]

[1]

Intelligibilité
(lisibilité d'un point dans l'espace)

Connectivité x Intégration



Calcul : Nombre des connexions directes du point n multiplié par la sa proximité à tous les autres en termes de déplacements (facilité générale de trouver le point n).

$$C \cdot I$$

Sens : correspondance entre l'accessibilité visuelle et physique du point n, la facilité de « lire » l'espace correctement. La valeur qui montre si ce que l'on perçoit comme accessible visuellement (ce qui démontre la Connectivité) est aussi facilement trouvable (ce qui démontre l'Intégration).

Dans le cas où la connectivité d'un point est élevée (s'il a un très grand nombre de connexions directs avec d'autres points de l'espace), mais son intégration est basse (il faut généralement faire beaucoup de détours pour y accéder physiquement depuis d'autres points de l'espace), la valeur de l'intelligibilité sera basse. Cela voudra dire qu'un point peut être bien visible depuis un grand nombre d'autres positions, mais difficilement accessible à cause des barrières physiques, ou bien s'il se trouve derrière des clôtures vitrées. Ce qui est perçu visuellement ne donne pas alors de vraie information et confond l'utilisateur. En revanche, s'il faut généralement faire peu de détours avant d'accéder à un point mais il n'est visible que depuis quelques autres positions, sa valeur de l'intelligibilité sera aussi plus basse. Cela voudra dire que l'on peut accéder facilement à un endroit, mais il faut bien savoir en avance où il se trouve, donc les usagers sans cette préconnaissance auront du mal à s'y orienter.

L'intelligibilité la plus élevée sera donc typique pour les points les mieux visibles depuis les autres positions autour, aussi bien que reliés à ces positions avec le moins de déplacements physiques. Cela voudra dire que peu importe d'où on observe l'espace à un moment donné, **un point ayant la valeur de l'intelligibilité élevée sera facilement remarquable et on pourra s'y retrouver aussi facilement.**

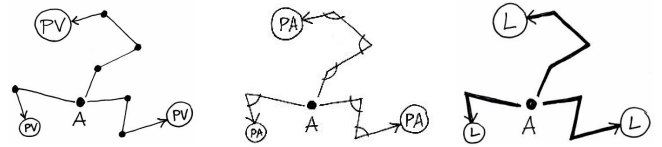
Résultat : graph des valeurs pour chaque pixel, exprimés en gradient de couleur relatif à tous les autres pixels sur le plan analysé.

[2], [3]

Inaccessibilité
(difficulté d'atteindre un point)

Profondeur du pas visuel x Profondeur du pas angulaire x Longueur du chemin

Par rapport au point de départ A :

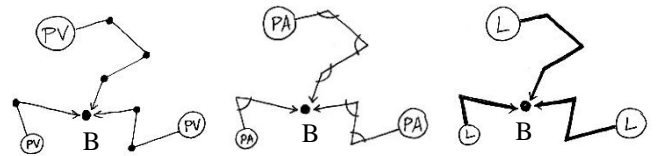


Calcul : difficulté de trouver un point n depuis le point de départ A, multipliée par les déviations angulaires à faire et la distance entre le départ A et un point n.

$$PV_A \cdot PA_A \cdot L_A$$

Sens : difficulté d'atteindre chaque point de l'espace à partir du point de départ A connu. **Les points avec le plus de déplacements et de déviations angulaires à faire et la plus grande distance « point A – point n » auront une valeur plus élevée.** Les points proches mais cachés ou lointains mais facilement remarquables auront une valeur moyenne. Les points proches et facilement accessibles auront une valeur plus basse.

Par rapport au point de destination B



Calcul : difficulté de trouver la destination B depuis un point n, multipliée par les déviations angulaires à faire et la distance entre un point n et la destination B.

$$PV_B \cdot PA_B \cdot L_B$$

Sens : difficulté d'atteindre la destination B depuis chaque point de l'espace. Pareil comme dans le cas précédent, **Les points avec le plus de déplacements et de déviations angulaires à faire et la plus grande distance « point n – point B » auront une valeur plus élevée.** Les points proches mais cachés ou aussi bien lointains mais facilement remarquables auront une valeur moyenne. Les points proches et facilement accessibles auront une valeur plus basse.

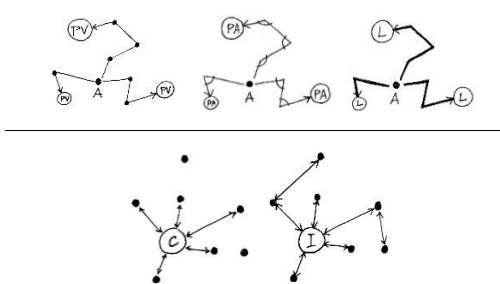
Résultat : graph des valeurs pour chaque pixel, relatives à la destination B, exprimées en gradient de couleur.

II.2.6 Calculs finaux

[4]

Inaccessibilité ajustée du n depuis A

Inaccessibilité depuis A / Intelligibilité



Calcul : difficulté d'atteindre un point n depuis le point de départ A, divisée par par l'intelligibilité du point n par rapport à tout l'espace d'analyse.

$$\frac{PV_A \cdot PA_A \cdot L_A}{C \cdot I}$$

Sens : corrélation entre la difficulté d'atteindre les destinations possibles à partir d'un point de départ fixe et la lisibilité générale de ces destinations possibles par rapport à l'espace analysé.

Ce calcul est composé d'après la logique de déplacement où on commence le chemin dans le point de départ A. Dans la recherche de la destination, l'utilisateur peut se retrouver dans n'importe quel endroit, et dans ce cas ce n'est plus l'inaccessibilité depuis le point A qui sera d'importance, mais l'intelligibilité du point de destination. Le calcul prend en compte non pas seulement le lien entre le point de départ et le pixel de destination, dont le résultat sera visible sur le graph, mais aussi la facilité de retrouver ce point n depuis tous les autres où on pourrait se retrouver sur le chemin. Une intelligibilité élevée est alors un facteur qui diminuerait la difficulté de les atteindre à partir du point de départ A, alors dans la formule on divise l'inaccessibilité du point n depuis le départ A par l'intelligibilité générale de ce point dans le système, peu importe le départ initial.

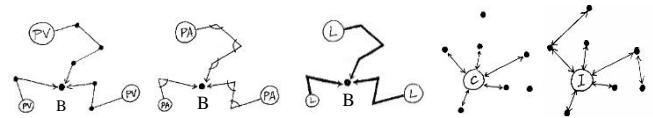
Si une zone particulière n'est pas difficilement accessible à partir du départ A, mais qu'elle est mal lisible par rapport à l'espace entier (où on peut se retrouver par hasard durant le parcours), ses valeurs de l'inaccessibilité ajustée augmenteront. Au contraire, si les propriétés d'une zone par rapport au système sont bien, ça diminuera l'inaccessibilité ajustée, car après avoir parti du point A mal connecté on pourra se retrouver dans d'autres positions, depuis lesquelles le point n ne sera plus inaccessible.

Résultat : graph des valeurs caractérisant les propriétés de chaque pixel sur le plan, relatives au départ A et à tout l'espace d'analyse en même temps.

[5]

Inaccessibilité ajustée du B depuis n

Inaccessibilité du B x Intelligibilité



Calcul : difficulté d'atteindre la destination B depuis un point n, multipliée par l'intelligibilité du point n par rapport à tout l'espace d'analyse.

$$PV_B \cdot PA_B \cdot L_B \cdot C \cdot I$$

Sens : corrélation entre la difficulté d'atteindre une destination fixe à partir des points de départ possibles et la lisibilité générale de ces points de départ possibles par rapport à l'espace analysé.

Ce calcul est composé d'après la logique de déplacement où on a besoin d'arriver dans le point de destination B, mais le chemin qui y mène peut commencer depuis n'importe quel point où l'utilisateur peut se retrouver à un moment donné. Le calcul prend en compte non pas seulement le lien entre le point de destination et le pixel de départ, dont le résultat sera visible sur le graph, mais aussi l'intelligibilité de ce pixel, donc la facilité de se retrouver dans n'importe quel autre endroit après avoir parti de ce pixel. On cherche à montrer à quel point c'est facile de retrouver la destination nécessaire depuis chaque pixel parmi toutes les connexions que ce pixel possède. Si le point est très bien intégré dans un vaste espace et on peut facilement accéder à une énorme variété des positions depuis celui-ci, ce calcul le comprend comme un facteur dérangeant dans la recherche d'une destination particulière. Une intelligibilité élevée des départs possibles est alors un facteur qui augmenterait la difficulté d'atteindre la destination B depuis ceux-ci, alors dans la formule on multiplie l'inaccessibilité de la destination B depuis un point n par l'intelligibilité générale de ce point dans le système. **Si la destination B n'est pas difficilement accessible à partir d'une zone, mais qu'un espace large (où on peut se perdre par hasard durant le parcours) est lisible depuis elle, ses valeurs de l'inaccessibilité ajustée augmenteront.** Mais, si les propriétés d'une zone par rapport au système ne sont pas aussi bien, ça diminuera l'inaccessibilité ajustée, car après avoir parti de cette zone on aura plus d'opportunité de se retrouver dans la destination B qui y est bien connectée.

Résultat : graph des valeurs caractérisant les propriétés de chaque pixel sur le plan, relatives à la destination B et à tout l'espace d'analyse en même temps.

II.3 Recueil des données

II.3.1 Préparations

Différentiation des variables

Les barrières dans l'espace étudié sont divisées en deux types. Il y a celles dont la hauteur est si importante (murs, poteaux) qu'elles bloquent l'accès direct aussi bien que la vision de l'espace, et celles de la hauteur inférieure (sièges, séparations) qui bloquent l'accès direct, mais n'empêchent pas de voir les points pas accessibles directement. En vue de ces natures différentes de barrières, il est nécessaire de créer deux plans distincts : l'un à partir duquel obtenir des données sur la visibilité des points, et l'autre – sur l'accessibilité des points. Pour cette raison, deux variations du même plan sont créées : plan 1 sans les barrières basses et plan 2 avec ces barrières ajoutées.

Pour récupérer les valeurs des variables relatives à la vision, donc à la compréhension de « où on peut accéder » (importance des liens directs entre les points), on utilise le plan 1 sans les barrières basses. [Fig. 32]

Mesures liées à la vision, analysées sur le plan 1 :

- *Connectivité (C)*
- *Profondeur du pas visuel (PV)*

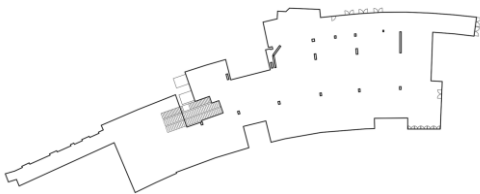


Figure 32. Plan 1 de l'espace analysé sans les barrières basses.

Pour récupérer les valeurs des variables qui comprennent le potentiel du déplacement (importance de tous les détours à faire), on utilise le plan 2, contenant aussi les barrières basses. [Fig. 33]

Mesures liées au déplacement, analysées sur le plan 2 :

- *Intégration (I)*
- *Profondeur du pas angulaire (PA)*
- *Longueur du chemin (L)*

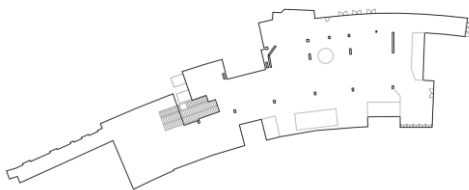


Figure 33. Plan 2 de l'espace analysé avec les barrières basses.

Création des plans dans Autocad

Le plan de l'espace fermé, contenant l'endroit défini comme problématique, a été créé dans le logiciel *Autocad*. Sources utilisées : plan accessible sur le site de l'aéroport, plan d'évacuation consulté sur place, documents photographiques pris sur place.

Version 1 (sans barrières basses) pour la vision.

Version 2 (avec barrières basses) pour le déplacement.

Importation des plans au depthmapX

Le plan créé dans *Autocad* est ensuite exporté au format *.dxf* et importé dans le logiciel d'analyse *depthmapX*. Afin de créer un graph de visibilité, il est demandé d'appliquer au-dessus du plan une grille de la taille choisie par l'utilisateur. Dans le cadre de la recherche, la taille d'un pixel est définie à 0,5m, ce qui correspond à la dimension approximative prise par un homme.

La surface de la grille est ensuite remplie avec des points d'analyse :

8148 emplacements créés pour la version du plan 1 ;
7566 emplacements créés pour la version du plan 2.

II.3.2 Calcul des valeurs par le logiciel

Dans cette section on représente les graphs de visibilité créés pour chaque mesure utilisée, aussi bien que les informations générales sur chaque mesure pour tout l'espace d'analyse, et les valeurs dans les points A et B.

Pour le point de départ A, j'ai choisi un des points de l'espace de sortie de la zone des bagages. Il se trouve juste au milieu entre plusieurs portes desquelles les passagers peuvent arriver. Le point est au niveau où tous les passagers arrivent avant qu'ils commencent à voir l'espace entier (là où le mur dépassant à gauche ne bloque plus la vue). [Fig. 35]

Pour le point d'arrivée B, le point central entre les deux escalateurs – notre destination – a été choisi. [Fig. 34]

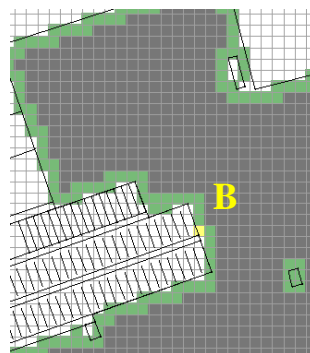


Figure 34. Point d'arrivée B

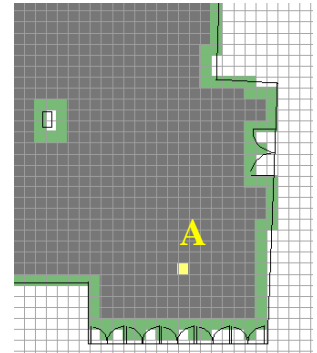


Figure 35. Point de départ A

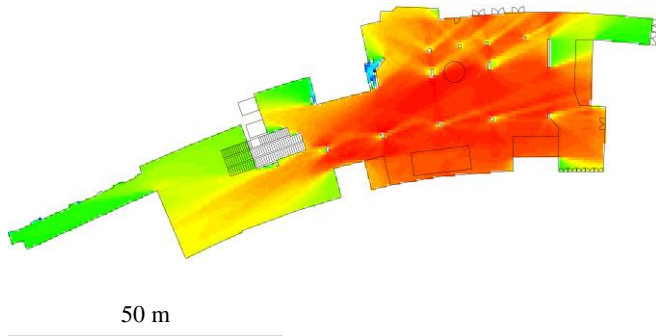


Figure 36. Graphe des valeurs de la connectivité.

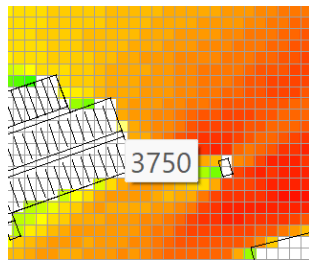


Figure 37. Valeur de la connectivité du point B.

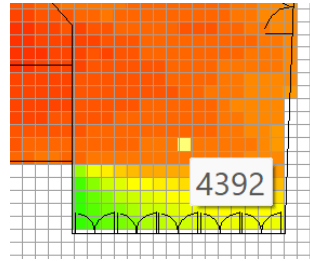


Figure 38. Valeur de la connectivité du point A.

Average	3706.31
Minimum	14
Maximum	5481
Std Dev	1295.75
Count	8148

Figure 39. Récapitulatif des valeurs de la connectivité.

Le premier graphe de visibilité créé est celui de la connectivité. [Fig. 36] Les positions possibles pour les usagers sont représentées en tant que pixels, puis *depthmapX* analyse l'intervisibilité entre leurs centres. Chaque pixel obtient une couleur selon le nombre d'autres points visibles depuis celui-ci. La gamme se varie du bleu, pour très peu de liens directs, à travers le vert, le jaune et l'orange jusqu'au rouge pour beaucoup de positions visibles directement. Vu que ce graph est créé pour le plan 1 (sans barrières d'accès, seulement celles qui bloquent la vision), on peut percevoir les valeurs obtenues comme « la connectivité visuelle ».

D'après les valeurs obtenues, on voit que le point de départ A [Fig. 38] est mieux connecté aux autres que le point de destination B [Fig. 37]. La valeur B se rapproche à la moyenne du système [Fig. 39], ce qui empêche de dire que les escalateurs sont placés dans un endroit bien visible depuis un grand nombre de positions possibles.

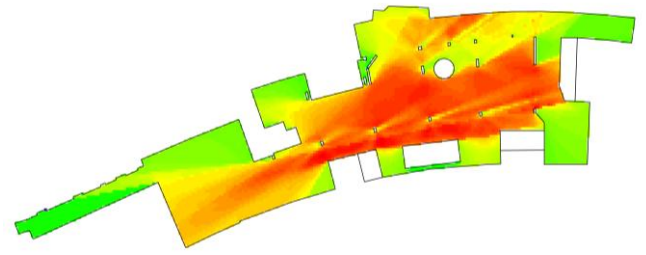


Figure 40. Graphe des valeurs de l'intégration.

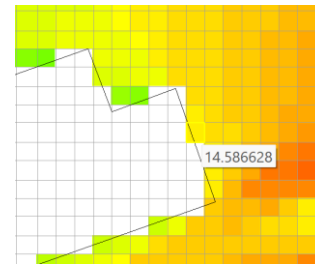


Figure 41. Valeur de l'intégration du point B.

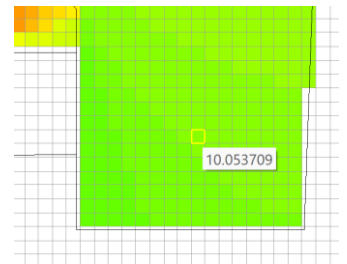


Figure 42. Valeur de l'intégration du point A.

Average	15.0059
Minimum	4.04465
Maximum	22.2803
Std Dev	4.05028
Count	7566

Figure 43. Récapitulatif des valeurs de l'intégration.

Vu que les valeurs de l'intégration sont calculées par le logiciel d'après celles de la connectivité, d'abord j'avais créé le graph de la « connectivité physique » pour le plan 2, contenant des barrières physiques qui bloquent l'accès. Ensuite, le graph de l'intégration physique a été créé. [Fig. 40] On voit ici jusqu'aux quelles zones il faut faire plus de déplacements en général à partir des autres positions. La valeur qui s'affiche ne reflète pas directement le nombre de déplacements à faire. Ce coefficient est calculé par *depthmapX* d'après les liens entre les centres des pixels du plan. Les zones vertes aux valeurs d'intégration plus basses sont intégrées pire que les zones rouges (c'est plus difficile à arriver dans les zones vertes que les rouges). L'intégration [Fig. 43] n'est pas directement proportionnelle à la connectivité, car le point B, ayant moins de liens visuels directs que le point A (connectivité plus basse) est néanmoins mieux intégré [Fig. 41] que le point A [Fig. 42] en termes d'accès physique (intégration plus élevée).

Profondeur du pas visuel – PV (depuis le point A)

Profondeur du pas visuel – PV (vers le point B)

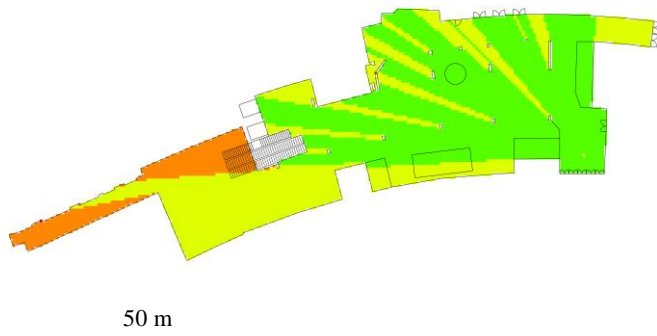


Figure 44. Graphe des valeurs de la profondeur du pas visuel A.

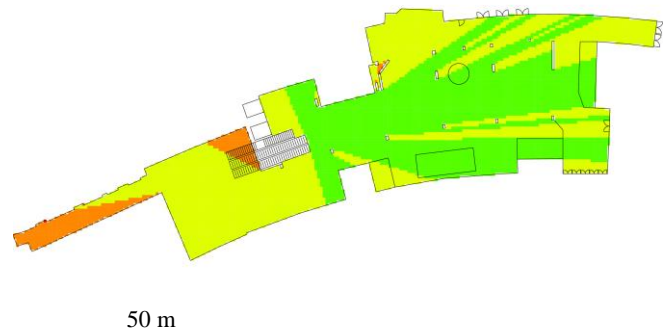


Figure 48. Graphe des valeurs de la profondeur du pas visuel B.

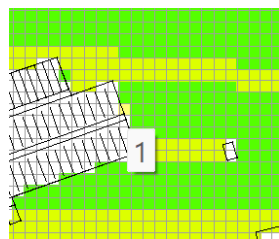


Figure 45. Valeur de la profondeur du pas visuel du point B.

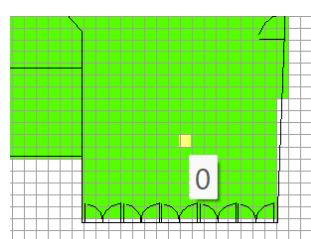


Figure 46. Valeur de la profondeur du pas visuel du point A.

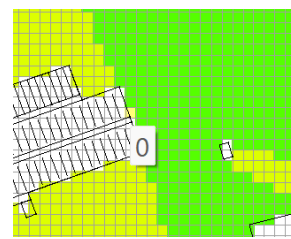


Figure 49. Valeur de la profondeur du pas visuel du point B.

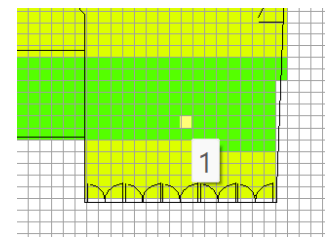


Figure 50. Valeur de la profondeur du pas visuel du point A.

Average	1.55167
Minimum	0
Maximum	4
Std Dev	0.65552
Count	8148

Figure 47. Récapitulatif des valeurs de la profondeur du pas visuel par rapport au point A.

La profondeur du pas visuel ici signifie le nombre des « sauts de vision » à parcourir à partir du point de départ A jusqu'au pixel dont le résultat est représenté sur le graphe. [Fig. 44] Dès que la zone est cachée par rapport à l'emplacement choisi, elle est plus difficile à remarquer, car on doit faire un certain nombre de déplacements pour qu'elle apparaisse dans le champ de vision.

Par rapport au point de départ A [Fig. 46], la destination B a la meilleure valeur possible [Fig. 45, 47], car elle peut être visible tout de suite. Elle n'est bloquée par aucune barrière de vision, donc elle est facile à remarquer. Cependant, cette valeur est valable que pour un moment donné, dès que l'utilisateur sort de la zone des bagages et passe le mur à sa gauche qui bloque l'aperçu de l'espace entier. Lorsqu'il continue son parcours, la profondeur du pas visuel jusqu'à la destination change pour chaque sa position suivante.

Average	1.59352
Minimum	0
Maximum	4
Std Dev	0.591394
Count	8148

Figure 51. Récapitulatif des valeurs de la profondeur du pas visuel par rapport au point B.

La profondeur du pas visuel ici signifie le nombre des « sauts de vision » à parcourir à partir du pixel dont le résultat se voit sur le graph [Fig. 48] jusqu'au point de destination B.

Comme sur le graph précédent, on voit que entre le point de départ A [Fig. 50] et le point de destination B [Fig. 49] il n'y a qu'un seul « saut de vision » à faire. Cela veut dire que lorsqu'un usager, sorti de la zone des bagages, regarde autour, il n'a besoin de se déplacer aucune fois pour remarquer la zone nécessaire, ce qui est mieux par rapport à la valeur moyenne [Fig. 51]. Il faut mentionner que, si l'utilisateur n'a pas réussi à remarquer la destination nécessaire étant à la position A, il se déplace naturellement vers la zone jaune, dont la valeur augmente jusqu'à 2. Cela veut dire que la destination n'est plus dans son champ de vision durant une grande partie de chemin. Cette observation n'apparaît pas dans les calculs, mais elle est à prendre en compte dans le développement des résultats.

Profondeur du pas angulaire –PA (depuis le point A)

Profondeur du pas angulaire –PA (vers le point B)

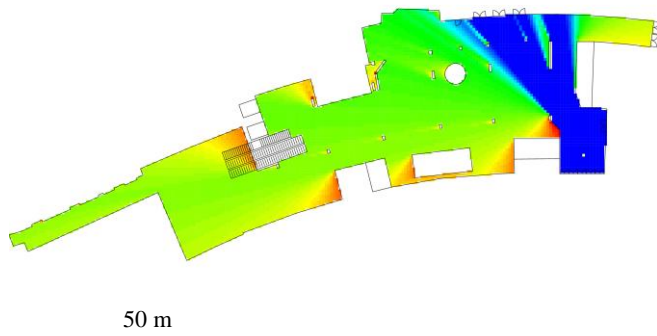


Figure 52. Graphe des valeurs de la profondeur du pas angulaire A.

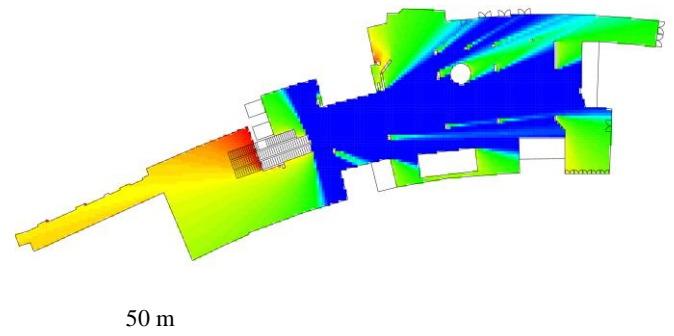


Figure 56. Graphe des valeurs de la profondeur du pas angulaire B.

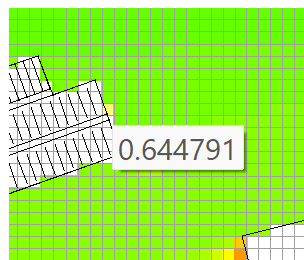


Figure 53. Valeur de la profondeur du pas angulaire du point B.

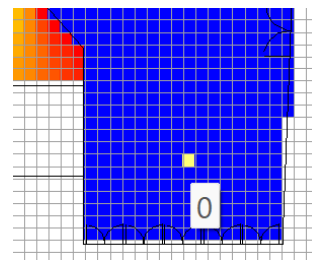


Figure 54. Valeur de la profondeur du pas angulaire du point A.

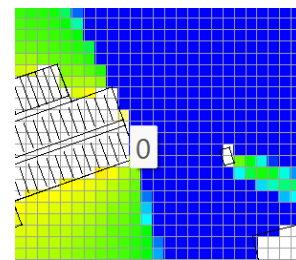


Figure 57. Valeur de la profondeur du pas angulaire du point B.

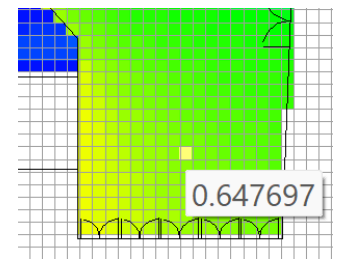


Figure 58. Valeur de la profondeur du pas angulaire du point A.

Average	0.578284
Minimum	0
Maximum	2.05772
Std Dev	0.379412
Count	7566

Figure 55. Récapitulatif des valeurs de la profondeur du pas angulaire par rapport au point A.

Average	0.390676
Minimum	0
Maximum	1.9905
Std Dev	0.471207
Count	7566

Figure 59. Récapitulatif des valeurs de la profondeur du pas angulaire par rapport au point B.

La valeur calculée prend en compte les déviations angulaires à faire à partir du point de départ A jusqu'à chaque pixel dont la valeur est représentée sur le graphe. [Fig. 52] *DepthmapX* envisage le chemin le plus court d'un point jusqu'à un autre et additionne les degrés par lesquels l'utilisateur doit se dévier dans le chemin. Cette mesure élimine le rôle de la distance, car même le chemin jusqu'à une position proche, qui comprend beaucoup de virages, est souvent moins favorable qu'un chemin long, mais droit et évident.

Les déviations du parcours du point A [Fig. 54] jusqu'au point B [Fig. 53] sont supérieures à la valeur moyenne pour les autres destinations possibles [Fig. 55]. Les valeurs du 0, donc des chemins droits dès le point de départ, se présentent pour les plusieurs sorties en haut du plan. Elles mènent à l'espace de connexion avec les autres terminaux de l'aéroport, mais sont dérangeantes pour la recherche de la destination B, recherchée majoritairement.

Pour arriver au point de destination B [Fig. 57], la largeur minimale de déviations angulaires est à faire à partir des pixels bleus, dont la valeur est égale à 0, contrairement au point de départ actuel [Fig. 58]. Le graphe [Fig. 56] correspond à la mesure précédente, celle de la profondeur du pas visuel. La profondeur du pas angulaire comprend les liens directs du point choisi jusqu'aux autres, sauf que des obstacles (des sièges ou des barrières basses) rendent l'accès vers certaines zones plus incurvé. D'après le graphe créé, la zone où se trouve la destination recherchée est bien située [Fig. 59], car elle est directement accessible à partir d'un grand nombre de positions dans la partie centrale du plan, où les usagers ont plus de possibilité de se retrouver.

Un aspect favorable est la présence des barrières qui dirigent le flux dès l'entrée à partir de la zone des bagages. Grâce à eux, les usagers entrants sont obligés de se déplacer vers la zone bleue, d'où la destination est accessible directement.

Longueur du chemin – L (depuis le point A)

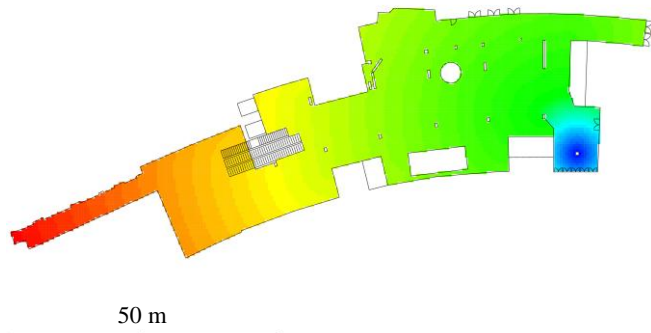


Figure 60. Graphe des valeurs de la longueur du chemin A.

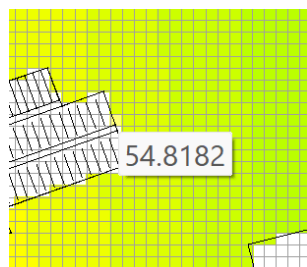


Figure 61. Valeur de la longueur du chemin du point B.

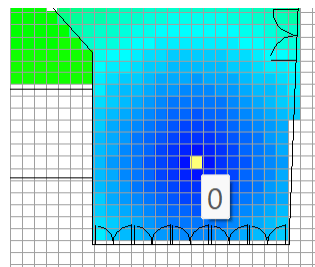


Figure 62. Valeur de la longueur du chemin du point A.

Average	43.5083
Minimum	0
Maximum	110.69
Std Dev	24.5021
Count	7566

Figure 63. Récapitulatif des valeurs de la longueur du chemin par rapport au point A.

A partir du point de départ A [Fig. 62], la distance à parcourir jusqu'à la destination B [Fig. 61] est supérieure à la valeur moyenne pour les autres pixels (les autres destinations possibles) [Fig. 63]. Premièrement, à cause de cela les usagers peuvent avoir du mal à remarquer la destination nécessaire, car la distance de visibilité est toujours limitée. Le plus un point est éloigné, le plus d'autres positions plus proches, visibles et atteignables attirent l'attention. [Fig. 60]

Puis, une distance plus longue à parcourir implique une plus grande possibilité de se dévier du bon chemin. Il y a moyen que l'utilisateur essaye plus d'autres sorties et passages qu'il trouve dans l'espace qu'il passe à travers, avant qu'il arrive à la bonne destination. Etant donné que le point de départ est fixe, la sortie de la zone d'arrivées (la destination B) aurait dû s'y rapprocher.

Longueur du chemin – L (vers le point B)

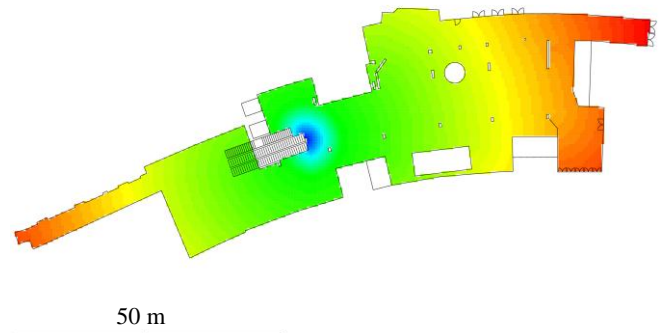


Figure 64. Graphe des valeurs de la longueur du chemin B.

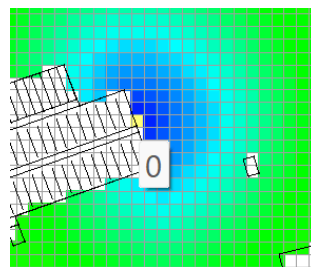


Figure 65. Valeur de la longueur du chemin du point B.

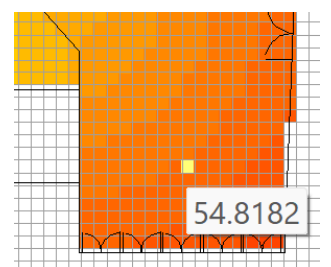


Figure 66. Valeur de la longueur du chemin du point A.

Average	29.3355
Minimum	0
Maximum	67.6381
Std Dev	15.2424
Count	7566

Figure 67. Récapitulatif des valeurs de la longueur du chemin par rapport au point B.

Par rapport au graph créé pour le point A [Fig. 60], la distance moyenne pour parvenir au point B [Fig. 65] est plus courte car il se trouve plus proche au milieu de l'espace envisagé. Etant donné la localisation fixe de la destination B (les escalateurs qui mènent vers la sortie), parmi tous les endroits possibles où le point de départ pourrait se situer, le point A actuel [Fig. 66] se trouve presque deux fois plus loin par rapport à la distance moyenne [Fig. 67].

Pareil comme dans le graph précédent [Fig. 60], on voit que dans le parcours A-B [Fig. 64] l'utilisateur est soumis à un plus grand nombre de distractions et de possibilités de déviation dans d'autres zones. D'après cette mesure, parmi les pixels créés pour le plan donné, le point de départ aurait dû être placé dans une zone plus proche au point de destination.

II.4 Traitement des données

II.4.1 La procédure

Le sujet de ce mémoire prévoit la combinaison des mesures envisagées dans le chapitre précédent. *DepthmapX* permet d'associer les valeurs des différentes mesures tout de suite – il y existe une commande « Push Values » pour effectuer des calculs entre elles et représenter les valeurs obtenus sur le graph en tant qu'une nouvelle mesure. Dans le but de faciliter la représentation des résultats des calculs, j'ai tout d'abord fait des essais de calcul des nouvelles mesures (notamment l'intelligibilité) directement dans le logiciel. Cependant, cette opération n'a pas fonctionné. Même si les valeurs que j'aspirais à combiner étaient créées pour les mêmes pixels, elles provenaient de deux plans différents (sans et avec des barrières basses) et cela a posé un obstacle pour le logiciel.

La solution trouvée était d'exporter les résultats de chaque mesure en tant que fichiers séparés et ensuite faire des calculs manuellement, en associant les valeurs des points correspondants dans les tableaux d'Excel.

Exportation des valeurs

Après avoir créé des graphes pour chaque mesure de base, j'ai exporté leurs données avec des commandes « Map – Export – Comma separated value file (.csv) ». Chaque fichier .csv a ensuite été importé dans un tableau Excel. Il comprenait une colonne « Ref » pour le numéro de référence de chaque point, puis des colonnes « x » et « y » pour les coordonnées de chaque point, et finalement les colonnes avec les mesures exportées. [Fig. 68]

	A	B	C	D	E
1	Ref	x	y	Connectivity	Visual Integration [HH]
2	65544	657287	417487,5	770	6.4358287
3	65545	657287	417488	330	6.21275
4	131077	657287,5	417486	754	6.4274364
5	131078	657287,5	417486,5	776	6.4389815

Figure 68. Données importées dans Excel à partir de *depthmapX*.

CSV signifie *comma separated values*, car les valeurs des différentes colonnes sont séparées par des virgules dans le fichier exporté, par contre la décimale dans chaque valeur est séparée par un point. Alors, pour que Excel puisse lire les valeurs en tant que nombres et pas en tant que texte, les points dans les valeurs ont été remplacés par des virgules avec la fonction de « Trouver et remplacer ».

Calcul des nouvelles mesures

Pour calculer l'intelligibilité, les valeurs de la connectivité et de l'intégration ont été associées dans un seul tableau. Puis les valeurs ont été multipliées pour réaliser le calcul. Les colonnes de la connectivité et de

l'intégration ont ensuite été retirées, afin de sauvegarder un fichier avec seuls les numéros de référence, les coordonnées x et y, et les valeurs de l'intelligibilité qu'il fallait ensuite représenter dans un nouveau graph pour le même plan. [Fig. 69]

	A	B	C	D
1	Ref	x	y	Intelligibilité
2	65544	657287	417487,5	4955,588099
3	65545	657287	417488	2050,2075
4	131077	657287,5	417486	4846,287046
5	131078	657287,5	417486,5	4996,649644
6	131079	657287,5	417487	4989,803478
7	131080	657287,5	417487,5	4969,270742

Figure 69. Valeurs de l'intelligibilité, sauvegardées dans un nouveau tableau.

Dans les calculs de la difficulté d'atteindre un point ([2] et [3]), le problème était de relier les différents nombres des pixels. La valeur de la *Profondeur du Pas Visuel*, par exemple, a été calculée pour 8148 pixels, par contre la valeur de la *Profondeur du Pas Angulaire* a été calculée pour 7566 pixels (les points où on ne peut pas marcher exclus). Pour les utiliser dans les mêmes équations, il fallait faire recours aux formules d'Excel, trouvées à l'aide du *ChatGPT* [Fig.70]. Ainsi, les valeurs ont été transférées entre les différentes pages d'un seul document Excel, et associées aux points correspondants selon le numéro de référence « Ref », attribué par *depthmapX* et présent dans les tableaux des valeurs de chaque mesure. [Annexe 4]

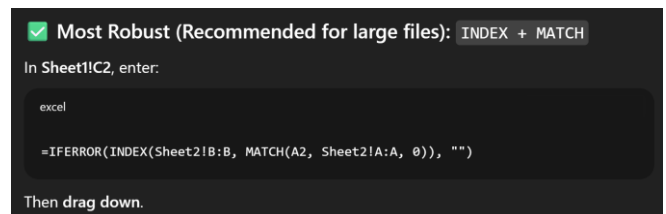


Figure 70. Formule d'Excel utilisée pour associer les valeurs dans.

Préparation des données pour importation dans *depthmapX*

Les virgules dans les tableaux Excel ont été remplacées inversement par les points pour que *depthmapX* puisse lire les valeurs lorsqu'on les y importe. [Fig. 71]

	A	B	C	D
1	Ref	x	y	Intelligibilité
2	65544	657287	417487.5	4955.588099
3	65545	657287	417488	2050.2075
4	131077	657287.5	417486	4846.2870456
5	131078	657287.5	417486.5	4996.649644
6	131079	657287.5	417487	4989.8034775
7	131080	657287.5	417487.5	4969.2707424
8	131081	657287.5	417488	4391.6683848
9	196614	657288	417486.5	5030.8984253
10	196615	657288	417487	5147.5534236

Figure 71. Valeurs de l'intelligibilité, préparées pour l'exportation.

II.4.2 Représentation des mesures calculées

Réimportation au depthmapX

Les données contenant la nouvelle mesure calculée ont été sauvegardées au format .csv à partir du tableau Excel. Cependant, l'importation de ce fichier dans *depthmapX* n'a pas fonctionné, car les valeurs exportées à partir d'Excel étaient séparées par des points-virgules au lieu des virgules, et le logiciel n'a pas réussi à les lire.

La solution trouvée était de sauvegarder quand-même les données dans le format .csv, puis utiliser un code Python pour rendre le fichier lisible et possible à importer dans *depthmapX*. A l'aide de ChatGPT, j'ai obtenu un « *Python snippet* », grâce auquel j'ai converti le CSV du type « *semicolon-delimited* » au « *comma-delimited* ». Le code *convert_csv.py* [Annexe 5], généré par ChatGPT d'après ma demande, a été sauvegardé dans le même dossier que le fichier CSV aux valeurs calculées de l'intelligibilité. Dans l'*Invite de commandes* de mon ordinateur, j'ai lancé la commande du Python *convert_csv.py* et le code a créé un fichier corrigé, possible à importer dans *depthmapX*.

Visualisation des nouvelles mesures

A la base du même plan, avec la même grille définie et un Graph de visibilité déjà créé, j'ai rajouté un nouveau calque avec les données de l'intelligibilité. Par la faute du logiciel, les valeurs importées apparaissent non pas comme des pixels, mais des petits points, dont la couleur n'est presque pas visible [Fig. 72].

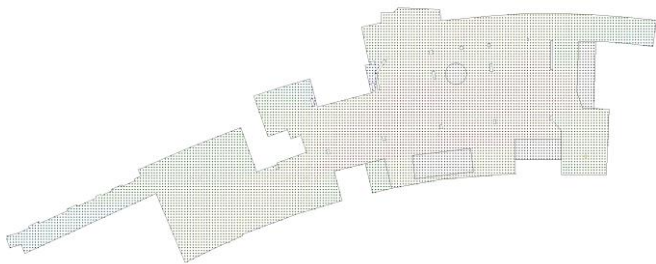


Figure 72. Premier essai de la représentation des valeurs calculées de l'intelligibilité.

La solution trouvée était d'augmenter la taille de la grille jusqu'à 1m, ce qui a rendu les nouveaux pixels plus grands, mais n'a pas diminué leur nombre. Une autre faute est ensuite apparue : ce n'était pas possible d'exporter le graph en tant que l'image, alors pour les sauvegarder, j'ai dû faire des captures d'écran.

Je présente ensuite les 5 nouveaux graphes de visibilité, créés pour les nouvelles mesures calculées. Ce sont l'intelligibilité [1], l'inaccessibilité de chaque pixel à partir du départ A [2], l'inaccessibilité de la destination B à partir de chaque pixel [3], et le calcul final pour le point A [4] et le calcul final pour le point B [5].

Intelligibilité [1]

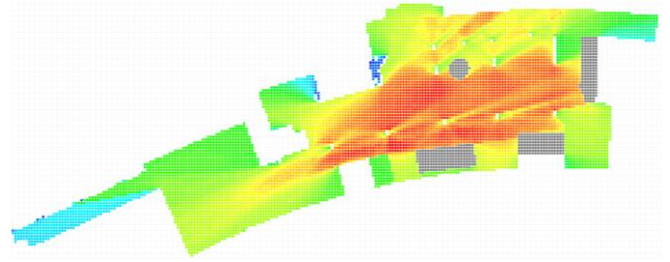
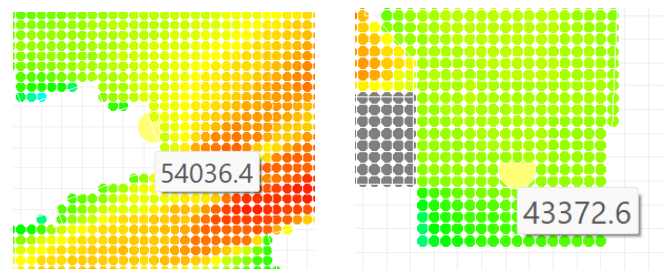


Figure 73. Graph des valeurs de l'intelligibilité.



Figures 74, 75. Valeurs de l'intelligibilité des points B et A.

Average	56988.3
Minimum	69.4275
Maximum	114571
Std Dev	29847.8
Count	7645

Figure 76. Récapitulatif des valeurs de l'intelligibilité.

Suite aux procédures décrites ci-dessus, les valeurs obtenues de l'intelligibilité ont été représentées sur un graph de visibilité. [Fig. 73] Certaines zones dans le plan analysé possèdent des valeurs de connectivité (leurs pixels sont visibles à travers) mais pas de valeurs d'intégration (leurs pixels ne sont pas traversants en marchant). Après avoir multiplié les valeurs de connectivité par les « 0 » de l'intégration, les zones non accessibles physiquement ont obtenu alors des valeurs égales à 0 et marquées en gris dans le graph.

La combinaison des deux mesures a permis d'avoir un plus grand éventail des valeurs – l'écart type (mesure de la dispersion des valeurs) fait 52% de la valeur moyenne ici [Fig. 76], tandis que pour les données de la connectivité et de l'intégration c'était 35% et 27%. Cela se voit dans la gamme des couleurs représentées sur le graph, en comparaison avec les graphes séparés de la connectivité et de l'intégration.

Les valeurs pour les points A [Fig. 75] et B [Fig. 74] sont en dessous de la moyenne [Fig. 76], alors on voit déjà que ni le point de départ, ni le point de destination ne se caractérisent pas par une intelligibilité élevée.

Inaccessibilité A [2]

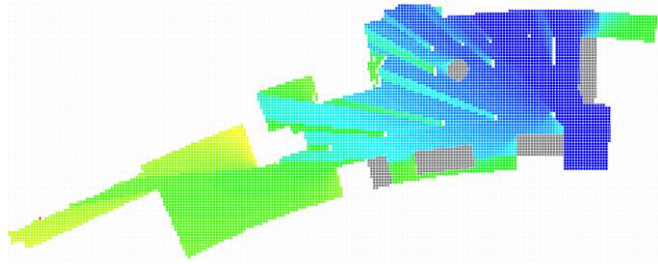
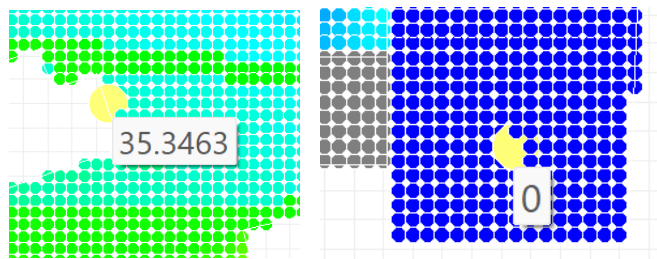


Figure 77. Graph des valeurs de l'inaccessibilité depuis le départ A.



Figures 78, 79. Valeurs de l'inaccessibilité des points B et A.

Average	61.0413
Minimum	0
Maximum	592.531
Std Dev	72.0691
Count	7566

Figure 80. Récapitulatif des valeurs de l'inaccessibilité depuis le départ A.

Le graphe de l'inaccessibilité à partir du point de départ A [Fig. 77] réunit les trois mesures caractérisant la difficulté d'accès à chaque pixel. La première parmi elles dérive de l'observation de l'espace (*Profondeur du pas visuel*), les autres – du parcours dans cet espace (*Profondeur du pas angulaire* et *Longueur du chemin*).

On voit les traces d'une *Profondeur du pas visuel* élevée derrière les poteaux. En revanche, dans l'analyse du point de départ fixe, cela ne dérange pas le contact avec la zone de destination. Puis, la présence des barrières à contourner lorsque l'utilisateur sort du point de départ rend toute la zone à gauche du plan plus inaccessible. Cet effet est par une distance plus longue à parcourir, aussi bien par des déviations plus grandes à faire pour s'orienter vers la destination nécessaire. Néanmoins, par rapport au point de départ choisi [Fig. 79], le résultat de la destination recherchée [Fig. 78] est presque deux fois plus petit que la moyenne pour tout l'espace [Fig. 80]. Alors, d'après ce graphe, étant donné que les usagers commencent le parcours dans le point A, la position du point B a été relativement bien choisie.

Inaccessibilité B [3]

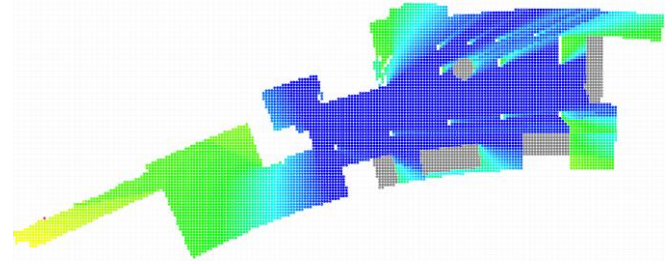
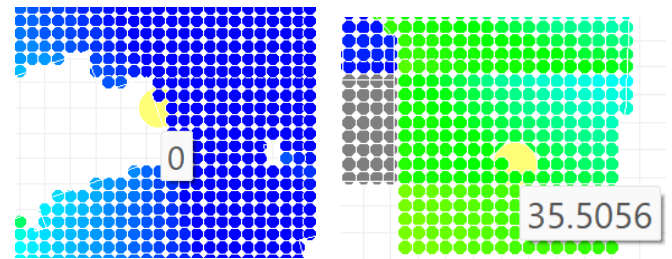


Figure 81. Graph des valeurs de l'inaccessibilité de la destination B.



Figures 82, 83. Valeurs de l'inaccessibilité des points B et A.

Average	24.3332
Minimum	0
Maximum	383.113
Std Dev	38.9585
Count	7566

Figure 84. Récapitulatif des valeurs de l'inaccessibilité de la destination B.

Si l'on envisage les pixels comme des points de départ possibles par rapport à la destination B fixe, le résultat observé [Fig. 81] change par rapport au graphe précédent. La valeur de l'inaccessibilité des pixels par rapport au point B [Fig. 84] est presque trois fois plus petite que par rapport au point A [Fig. 80]. Le point B est alors presque trois fois mieux relié aux autres pixels que le point A en termes de visibilité, déviation et longueur du parcours. Les poteaux dans ce cas posent moins de difficultés. Les barrières à contourner lors du départ du point A [Fig. 83] amènent inévitablement les usagers dans la zone bleue, d'où la destination [Fig. 82] est accessible le plus facilement. Le chemin à faire jusqu'à cette zone est toutefois très bien connecté visuellement à tout l'espace, donc il y existe une possibilité que le regard de l'utilisateur se perde durant ce parcours et il se dévie ensuite.

Les deux derniers graphes de visibilité [Fig. 77, 81] ont été ensuite réunis avec le premier graphe de l'intelligibilité [Fig. 73] dans deux manières différentes. Les données obtenues sont présentées ci-dessous en tant que visualisations des calculs finaux.

Inaccessibilité ajustée depuis le départ A [4]

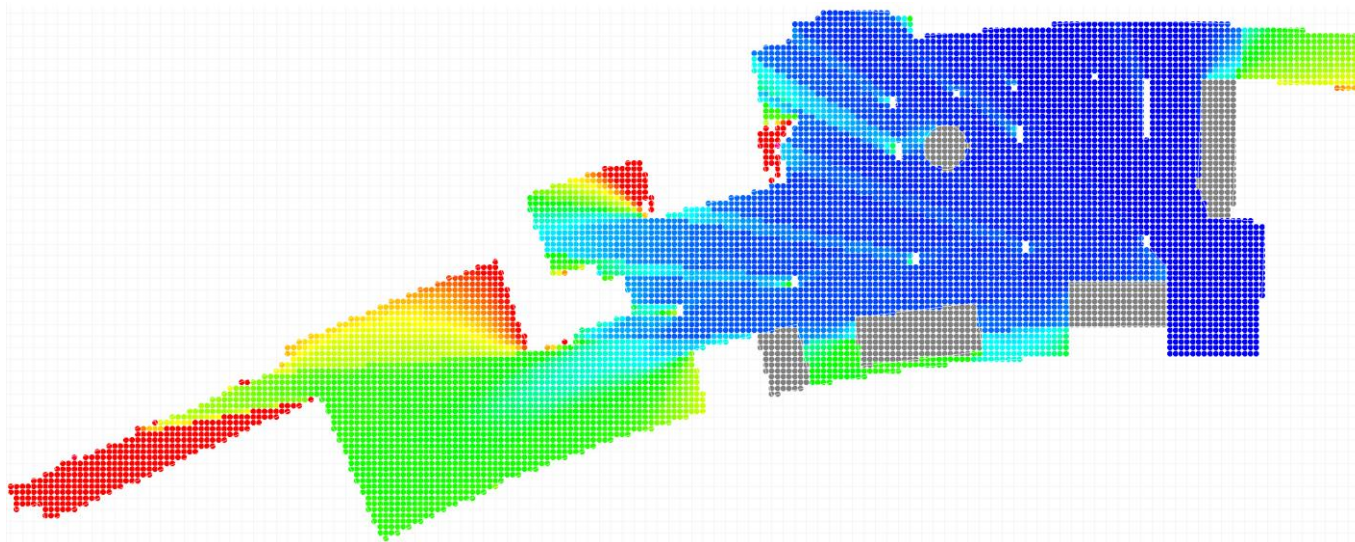
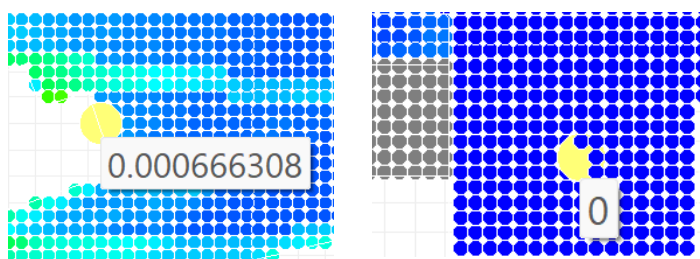


Figure 85. Graphe des valeurs de l'inaccessibilité ajustée depuis le départ A.

Average	0.00462846
Minimum	0
Maximum	3.61463
Std Dev	0.0458821
Count	7566

Figure 86. Récapitulatif des valeurs de l'inaccessibilité ajustée depuis le départ A.



Figures 87, 88. Valeurs de l'inaccessibilité ajustée des points B et A.

Inaccessibilité ajustée de la destination B [5]

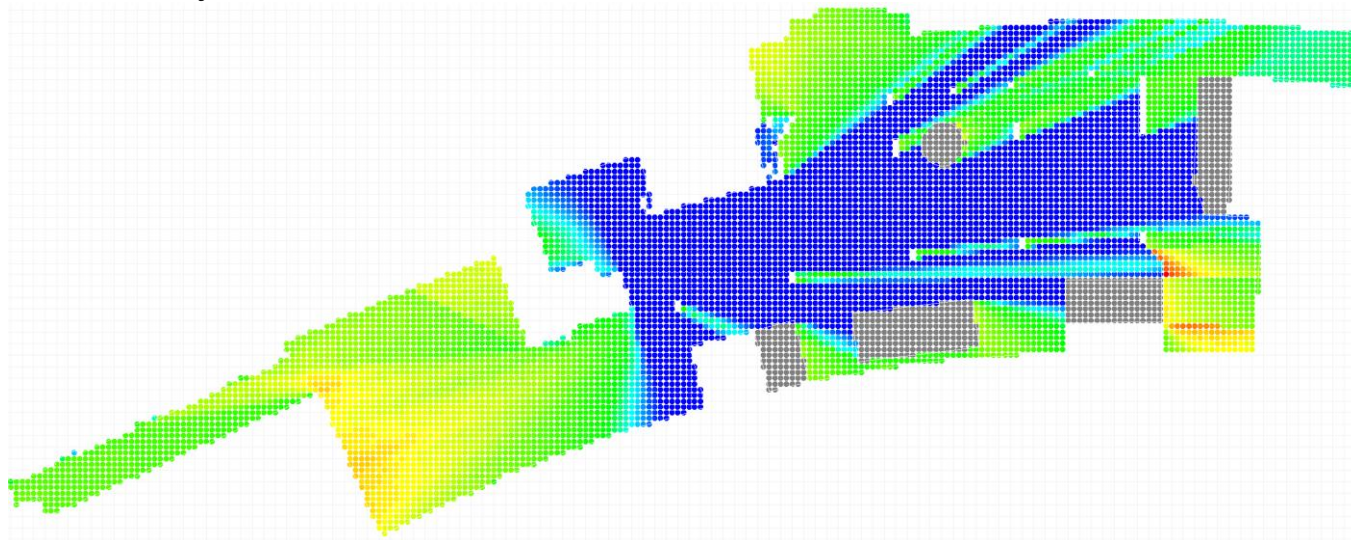
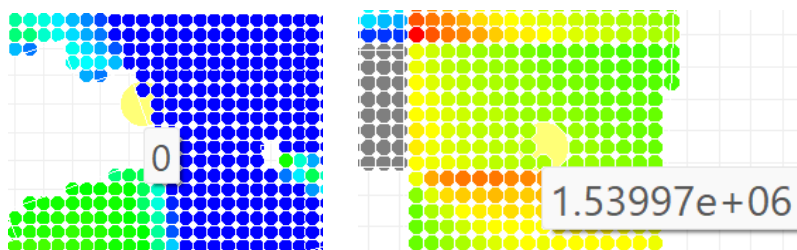


Figure 89. Graphe des valeurs de l'inaccessibilité ajustée de la destination B.

Average	624768
Minimum	0
Maximum	3.9587e+006
Std Dev	723438
Count	7566

Figure 90. Récapitulatif des valeurs de l'inaccessibilité ajustée de la destination B.



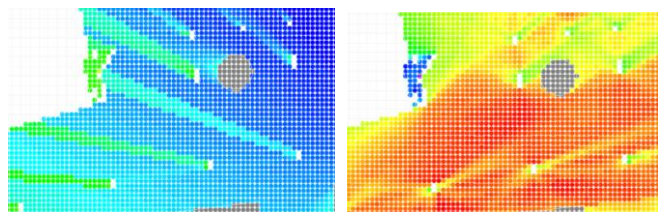
Figures 91, 92. Valeurs de l'inaccessibilité ajustée des points B et A.

II.5 Analyse et développement des résultats

Inaccessibilité ajustée depuis le départ A

L'inaccessibilité des pixels par rapport au point de départ A a été divisée par leur intelligibilité générale, perçue comme un facteur facilitant l'orientation. Ce calcul a fourni des valeurs de l'inaccessibilité ajustée depuis le départ A, représentées sur le graph [Fig. 85]. Le récapitulatif des valeurs obtenues [Fig. 86] nous indique que l'écart type des résultats est dix fois plus grand que la valeur moyenne pour les pixels du système. Cela veut dire que les calculs effectués ont produit une très large variété de valeurs. Dans ce cas, il a fallu ajuster la valeur maximale visible pour rendre l'éventail des valeurs plus lisible sur le graph. [Annexe 6]

Par rapport au graph de l'inaccessibilité simple [Fig. 77], la division de l'inaccessibilité par les valeurs de l'intelligibilité a réduit les inconvénients posés par les poteaux. [Fig. 95] Les pixels cachés derrière eux par rapport au point A se sont avérés évidemment pas bien accessibles par rapport au point de départ [Fig. 93]. En revanche, d'après le graph de l'intelligibilité, ils sont majoritairement très bien lisibles par rapport au système entier [Fig. 94]. Donc, après être parti de la position A fixe, l'utilisateur a plus d'opportunités d'observer et de se retrouver dans la zone centrale du plan. Elle est généralement bien visible et accessible depuis les autres pixels du système où il va accéder dans son parcours, et le calcul effectué a mis en valeur cette caractéristique.



Figures 93, 94. Comparaison des plans de l'inaccessibilité A et de l'intelligibilité.

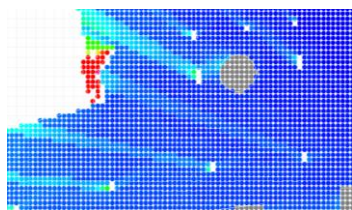


Figure 95. Fusion des deux plans précédents d'après le calcul [4].

D'après le graph, les barrières basses (présentes à gauche du point de départ) augmentent légèrement l'inaccessibilité ajustée de la partie centrale du plan. Même malgré les valeurs de l'intelligibilité très élevées dans cette zone, son inaccessibilité est augmentée par l'accès obstrué dès la sortie. Les autres barrières basses (les sièges) sont généralement placées le long des bords

du plan et en dehors du chemin A-B, donc elles ne jouent pas de rôle crucial dans la recherche de la destination nécessaire. Seul l'accès vers les bords du plan est rendu plus difficile.

La valeur du point de destination existant [Fig. 87] est presque sept fois plus petite que la moyenne du plan entier [Fig. 86], ce qui aurait dû signifier son bon emplacement. Elle se rapproche toutefois à la valeur d'un grand nombre d'autres pixels dans la partie centrale et droite du plan. La destination recherchée risque alors de se perdre parmi toutes les autres destinations possibles autour, qui sont accessibles encore plus facilement. La valeur du point de destination commence à se rapprocher aux valeurs des pixels verts de la partie gauche du plan, ce qui est visible dans le graph. Alors, cela met en évidence que tous les pixels bleus de la large zone où l'utilisateur se retrouve suite à la sortie [Fig. 88] sont mieux accessibles que la destination B. Vu cette accessibilité élevée, la zone de destination recherchée ne ressort pas comme la plus favorable parmi les autres possibilités dans l'espace entier. L'inaccessibilité à partir du point A selon le graph est encore plus grave pour les ascenseurs, qui se situent derrière les escalateurs [Fig. 96].

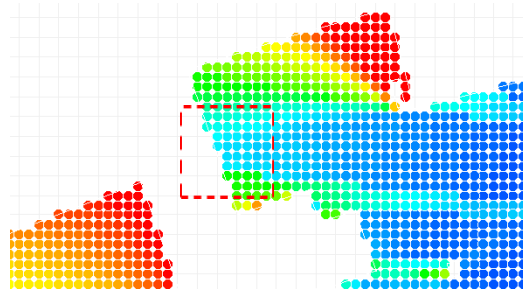


Figure 96. Position des ascenseurs de la zone d'arrivées.

Les valeurs les plus élevées de l'inaccessibilité sont représentées dans la zone qui dessert les toilettes [Fig. 97]. Elle est la moins intelligible aussi bien que la plus éloignée, et il faut faire le plus de déviations de direction pour y accéder, alors elle est difficile à retrouver à partir du départ A.

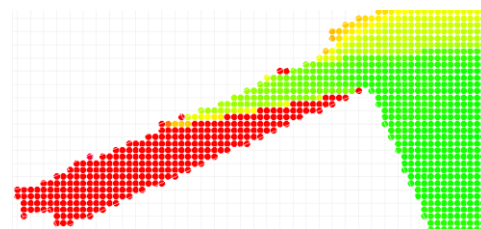


Figure 97. Couloir des toilettes, accessible le plus difficilement.

Par rapport au point de départ, le passage vers les autres terminaux est exceptionnellement bien placé [Fig. 98]. Cette zone possède de meilleures valeurs d'accessibilité que les escalateurs pour la sortie principale, alors ça pose un problème dans l'orientation vers la destination recherchée dans ce travail.

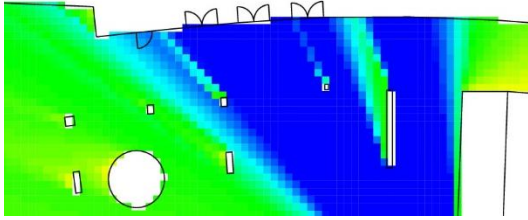


Figure 98. Profondeur du pas angulaire entre le point de départ A et la zone de sortie vers les autres terminaux.

Il y existe également une dissonance entre la visibilité et l'accessibilité dès la sortie de la zone des bagages. L'utilisateur est censé passer un virage à travers les barrières situées, tandis que l'exposition visuelle, représentée sur le graph de connectivité, est assez élevée. Dans cette configuration, une restriction de visibilité vers la signalétique bien placée aurait permis de retrouver facilement la zone nécessaire après avoir passé les barrières d'accès.

En revenant aux mesures de base de la Syntaxe Spatiale, celles qui ressortent le plus dans le graph de l'inaccessibilité des pixels à partir du point de départ A [Fig. 85], étaient l'Intégration, la Profondeur du pas visuel et la Longueur du chemin élevées.

Inaccessibilité ajustée de la destination B

L'inaccessibilité du point de destination B par rapport aux pixels a été multipliée par l'intelligibilité générale de ces pixels, prise comme un facteur compliquant l'orientation. Ce calcul a fourni des valeurs de l'inaccessibilité ajustée de la destination, représentées sur le graphe. [Fig. 89]

Par rapport au graph de l'inaccessibilité simple [Fig. 81], la multiplication avec la valeur de l'intelligibilité a augmenté ses valeurs. Cela a fait ressortir les zones d'où l'accès au point B doit évidemment être plus compliqué. Ici on comprend l'intelligibilité élevée du pixel comme un facteur qui rend plus difficile l'accès vers la destination particulière. D'après cette logique, les valeurs les mieux lisibles sur le graph de l'intelligibilité [Fig. 100] augmentent l'inaccessibilité vue sur le graphe de l'inaccessibilité simple [Fig. 99].

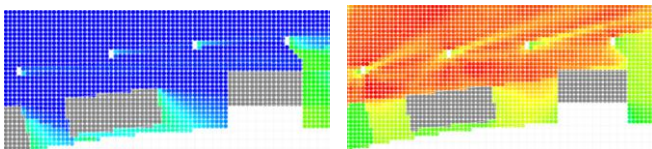


Figure 99. 100. Comparaison des plans de l'inaccessibilité B et de l'intelligibilité.

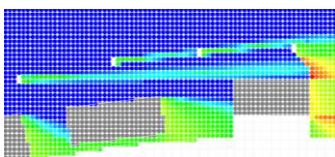


Figure 101. Fusion des deux plans précédents d'après le calcul [5].

Par exemple, certaines zones derrière les poteaux ressortent finalement comme des plus mauvais points de départ pour la destination [Fig. 101]. D'après le graphe, ce n'est alors pas souhaitable de s'y retrouver durant le parcours vers le point B [Fig. 91].

Une zone aux valeurs encore plus grandes de l'inaccessibilité est celle où se trouve le point A [Fig. 102]. Les barrières basses à gauche du départ existant aggravent l'accessibilité du point B depuis le point A. Le calcul final n'a pas abouti à l'amélioration de son accessibilité. Les valeurs ici restent aussi élevées que dans le graph de l'inaccessibilité simple [Fig. 81], malgré une pauvre intelligibilité générale de cette zone, par laquelle l'inaccessibilité simple a été multipliée.

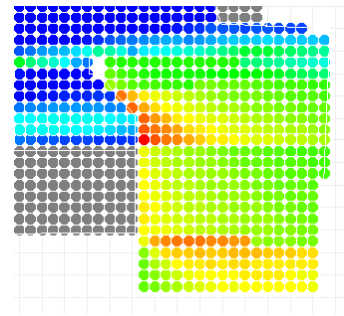


Figure 102. La zone de départ ayant des valeurs élevées de l'inaccessibilité.

La valeur du point de départ existant [Fig. 92], étant déjà pas favorable dans le graph de l'inaccessibilité simple [Fig. 83], devient ici deux et demi fois plus grande que la moyenne parmi les autres pixels [Fig. 90]. Tout cela rend la zone bleue suivante, rapprochée au centre du plan, beaucoup plus favorable pour commencer le parcours vers la destination B. En vue de cela, les barrières qui mènent inévitablement les usagers vers cette zone sont placées dans un bon endroit [Fig. 103]. Néanmoins, les déviations angulaires et le chemin additionnel à faire à partir du départ pour accéder à cette zone, ainsi que l'exposition visuelle excessive du point de départ rendent la navigation vers la destination plus difficile.

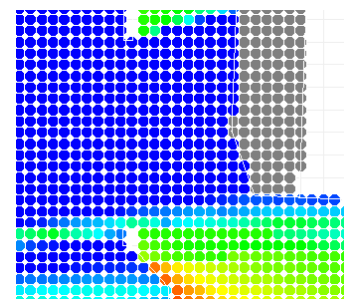


Figure 103. Passage vers la zone ayant des valeurs basses de l'inaccessibilité.

Le parcours le plus facile jusqu'au point B aurait pu s'effectuer à partir de la zone bleue étendue dans le centre du plan analysé (où la valeur de l'inaccessibilité reste la plus basse après le calcul effectué) [Fig. 104].

En effet, lorsque les passagers observés sur place arrivent dans cette zone, ils n'ont plus du mal à remarquer les escalateurs de sortie. Malgré un haut niveau de l'intelligibilité de cette zone (en vue du grand nombre de connexions directes et la facilité d'accès), le calcul de l'inaccessibilité a évidemment fourni des valeurs suffisamment bas pour cette bande horizontale.

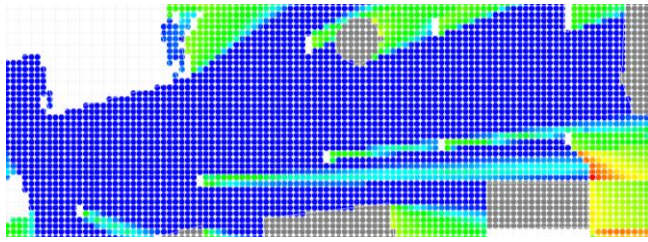


Figure 104. La bande centrale aux valeurs basses de l'inaccessibilité.

En revenant aux mesures de base de la *Syntaxe Spatiale*, celles qui ressortent le plus dans le graph de l'inaccessibilité du point de destination à partir des autres pixels [Fig. 89], sont la *Profondeur du pas visuel*, la *Profondeur du pas angulaire*, et l'*Intégration*.

II.6 Résultats

Premièrement, j'ai analysé la difficulté d'accès aux différentes zones à partir du point de départ fixe, compte tenu de l'intelligibilité élevée en tant que facteur positif. [Fig. 85]

Puis, j'ai évalué la difficulté d'accès au point de destination fixe à partir des différentes zones, compte tenu de l'intelligibilité élevée en tant que facteur négatif. [Fig. 89]

- Dans le résultat du premier calcul final [4], la valeur du point de destination, plus favorable pour l'orientation que la valeur moyenne du système entier, ne démontre pas de difficulté d'orientation vers ce point. Cependant, en observant les couleurs du graphe créé, on voit que les valeurs de la zone de destination existante sont moins favorables par rapport aux autres points plus proches au départ. Cela indique des difficultés possibles dans la recherche de ce point de destination.
- Dans le résultat du deuxième calcul final [5], la valeur du point de départ, moins favorable pour l'orientation que la valeur moyenne du système entier, démontre une difficulté d'orientation à partir de ce point. Pareillement, en observant les couleurs du graphe créé, on voit que les valeurs de la zone de départ existante sont moins favorables par rapport aux autres points plus proches à la destination. Cela indique des difficultés possibles dans la recherche de la destination depuis ce point de départ.

- Dans le cas où l'intelligibilité est prise comme un facteur facilitant l'orientation, ces valeurs élevées pour les pixels diminuent leur inaccessibilité depuis un point particulier, et ce résultat est visible dans le graph.

Conséquemment, la première hypothèse « *Par la combinaison des mesures de la Syntaxe Spatiale, il est possible de repérer un indice objectif de difficulté d'orientation dans un espace aéroportuaire.* » est validée.

Ensuite,

- Sur le graph de l'intelligibilité seule [1], les valeurs des points de départ et de destination se rapprochent à la valeur moyenne du système entier, tandis que sur les graphes [4] et [5] qui rajoutent les valeurs relatives au sens du mouvement, la position pas favorable de ses points ressort de manière plus évidente.
- Pareillement, les graphes [2] et [3] qui réunissent seules les valeurs relatives au sens du mouvement démontrent de manière plus claire les valeurs basses d'accessibilité des points A et B que le graph de l'intelligibilité du système entier [1].

Ainsi, la deuxième hypothèse « *La combinaison des mesures comprenant le sens du mouvement (du point A au point B) est plus efficace que celle qui démontre les qualités du point par rapport à l'ensemble de tous les autres points de l'espace.* » est également validée.

Finalement, la réponse à la problématique initiale de cette recherche « *Les outils de la Syntaxe Spatiale peuvent-ils repérer les difficultés d'orientation dans un espace aéroportuaire ?* » est affirmative.

III Conclusion

Dans le cadre de ce mémoire de Master, la recherche réalisée a permis d'envisager plusieurs possibilités d'analyser l'orientation avec des outils de la *Syntaxe Spatiale*. A l'aide de cette méthode j'ai abordé les questions de la perception visuelle d'un espace fermé, des modalités de déplacement, des difficultés d'orientation liées à la configuration architecturale ainsi que des dispositifs permettant de représenter et analyser ces informations.

La méthode développée au cours de ce travail a reposé sur les étapes suivantes :

- le choix d'un plan d'analyse ;
- l'élaboration d'une certaine logique du parcours et de la perception de l'espace en question ;
- la production des données décrivant le déplacement dans cet espace ;
- ainsi que la détection de la provenance des difficultés possibles d'orientation.

Cette méthode a le potentiel de détecter les zones problématiques pour l'orientation d'après les plans architecturaux au moment de leur conception ou dans les bâtiments déjà construits. Cela permettrait d'améliorer l'expérience des usagers dans les futurs terminaux aéroportuaires, aussi bien que de trouver et chercher à résoudre les problèmes existants. Conçue pour l'analyse d'un chemin reliant un point à un autre, elle s'applique particulièrement aux espaces de mobilité, tels que les gares ou les stations de métro. La typologie aéroportuaire envisagée dans ce travail constitue toutefois un cas particulier en raison de la présence d'un parcours préétabli et plus strict.

Le terrain d'étude a été envisagé du point de vue architectonique, afin de détecter les difficultés de déplacement dans l'espace qui relèvent de la configuration spatiale. Seules les barrières de la vision et d'accès physique ont été prises en compte lors de la création du plan d'analyse, alors cette approche a le potentiel d'être complétée avec la prise en compte de l'emplacement de la signalétique.

Limites de la recherche

Premièrement, la recherche a été limitée par la nature subjective de mes observations *in situ*. Ces données ont été considérées comme particulièrement importantes, car elles ont servi de base à la formulation de la problématique et des hypothèses. Les résultats auraient alors possiblement été différents dans une autre zone du terminal, ou dans l'analyse du parcours vers une autre destination dans le même espace.

Les résultats obtenus dépendent aussi largement de la taille du plan, choisie pour l'analyse. Dans la même zone du terminal, les parties annexes (des couloirs, passages vers d'autres espaces) auraient pu être éliminées si j'avais décidé qu'elles ne constituaient pas la partie importante de l'espace perçu. En revanche, les couloirs qui ont quand même été pris en compte ont rajouté un certain nombre de pixels et ont influencé ainsi les valeurs moyennes aussi bien que l'écart type.

Puis, les calculs effectués contiennent différentes mesures, chacune son éventail des valeurs. Pour que les données obtenues au final soient moins dispersées et représentées plus régulièrement sur le graphe, j'aurais dû effectuer des ajustements aux opérations mathématiques. Cela aurait impliqué l'usage des coefficients appropriés pour chaque mesure de base, intégrée dans le calcul.

Pistes pour les futures recherches

Dans les futures recherches dans ce domaine, ma proposition serait d'envisager également le rôle du signalétique vers la destination. Ce travail, centré sur la configuration spatiale et le déplacement dans l'espace, a négligé cet autre facteur important de *wayfinding*. L'emplacement de la signalétique pourrait aussi bien être analysé sur les graphes de visibilité des plusieurs mesures de visibilité, comme la *Connectivité* ou la *Profondeur du pas visuel*.

Ensuite, l'étude des isovistes pourrait aussi contribuer à l'analyse au futur (par exemple, quelle partie de l'isoviste depuis chaque position est orientée vers la destination nécessaire ou vers l'information pratique du signalétique). Dans l'élaboration des graphes de visibilité, une autre option possible serait de passer en dimension 3D, faire des graphes pour la coupe ou analyser la hauteur et la visibilité de la signalétique.

Dans *depthmapX*, une autre option serait de créer un « Agent-based model » avec l'outil « Agent Analysis ». Selon les développeurs du logiciel, cette simulation permettrait d'anticiper le comportement du mouvement des individus. Les « Agents » modélisés ici choisiraient leur direction d'après leur champ de vision à chaque position donnée, créé à partir du graphe de visibilité. (Penn et Turner, 2001) Ce modèle permettrait de prédire le comportement des usagers lorsqu'ils se déplacent et s'orientent à travers un environnement.

L'étude pourrait aussi être complétée par d'autres outils d'exploration préalable (observations, enquêtes ou cartographie) afin de mieux comprendre le vécu des usagers et d'obtenir des données plus généralisables.

Bibliographie

- Adey, P. (2008). Airports, mobility and the calculative architecture of affective control. *Geoforum*, 39(1), 438-451. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2007.09.001>
- Augé, M. (1992). *Non-lieux : introduction à une anthropologie de la surmodernité*.
- Bock, O., Huang, J.-Y., Onur, O. A. et Memmert, D. (2024). The structure of cognitive strategies for wayfinding decisions. *Psychological Research*, 88(2), 476-486. <https://doi.org/10.1007/s00426-023-01863-3>
- Ça change à Châtelet-Les Halles. Réunion publique. 2014.
- Chang, H.-H. (2013). Wayfinding Strategies and Tourist Anxiety in Unfamiliar Destinations. *Tourism Geographies*, 15(3), 529-550. <https://doi.org/10.1080/14616688.2012.726270>
- Churchill, A., Dada, E., De Barros, A. G. et Wirasinghe, S. C. (2008). Quantifying and validating measures of airport terminal wayfinding. *Journal of Air Transport Management*, 14(3), 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2008.03.005>
- Douglas, F. (1999). An effective wayfinding strategy integrates signage with other architectural elements. *Trade Press Publishing Corporation*. timelysigns.com
- Elkady, A. et Ismael, B. (2009). Airports Architectural Design Solutions and New Design Technologies. *International Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology*, 13(AEROSPACE SCIENCES), 1-12. <https://doi.org/10.21608/asat.2009.23716>
- Fewings, R. (2001). Wayfinding and Airport Terminal Design. *Journal of Navigation*, 54(2), 177-184. <https://doi.org/10.1017/S0373463301001369>
- Foster, N. (2023). Norman Foster : « Ma quête est celle d'une approche holistique permettant d'atteindre un équilibre avec la nature. ». <https://www.centrepompidou.fr/fr/magazine/article/norman-foster-ma-quete-est-celle-dune-approche-holistique-permettant-datteindre-un-equilibre-avec-la-nature>
- Groupe ADP. Réhabilitation du Terminal 2B et création du bâtiment de liaison B/D. Aéroport Paris - Charles de Gaulle. 2021.
- Hernandez Bueno, A. V. (2021). Becoming a passenger: exploring the situational passenger experience and airport design in the Copenhagen Airport. *Mobilities*, 16(3), 440-459. <https://doi.org/10.1080/17450101.2020.1864114>
- Hernandez Bueno, A. V. (2022). Airport Design and Situational Passenger Flows and Practices: Exploring Design as a Method in Copenhagen Airport. *Applied Mobilities*, 7(2), 186-206. <https://doi.org/10.1080/23800127.2020.1847397>
- Hillier, B. et Hanson, J. (1984). *The Social Logic of Space* (Cambridge University Press). <https://www.spacesyntax.online/glossary/>
- Hillier, B., Hanson, J. et Graham, H. (1987). Ideas are in things: an application of the space syntax method to discovering house genotypes. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 14(4), 363-385. <https://doi.org/10.1068/b140363>
- Hubregtse, M. (2016). Passenger movement and air terminal design: artworks, wayfinding, commerce, and kinaesthesia. *Interiors*, 7(2-3), 155-179. <https://doi.org/10.1080/20419112.2016.1215678>
- Jumpei Ueno, Aya Nakazawa et Tatsuya Kishimoto. (2012). An Analysis of Pedestrian Movement in Multilevel Complex by Space Syntax Theory: In the Case of Shibuya Station. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 6(7). <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2012.07.002>
- Kalakou, S., Moura, F. et Medeiros, V. (2015). Analysis of airport configuration and passenger behaviour. *Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium*.
- Osman, K. M. et Suliman, M. (2005). *The Space Syntax Methodology: Fits and Misfits*.
- Pearman, H. (2004). *Airports : a century of architecture* (Harry N. Abrams).

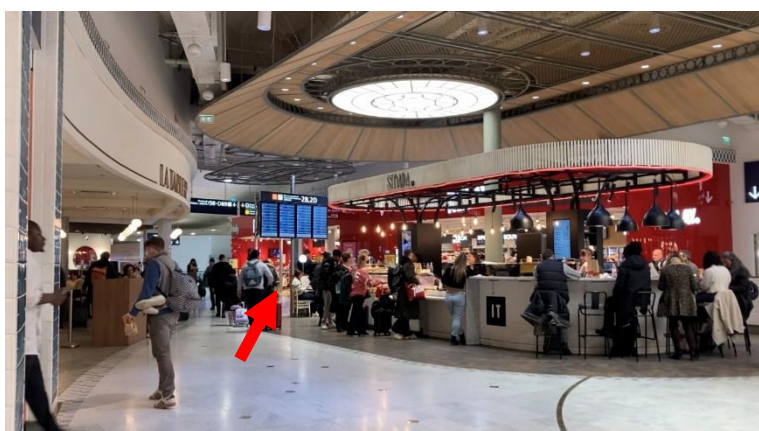
- Penn, A. et Turner, A. (2001). Space Syntax Based Agent Simulation. *1st International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics.*, 7.
- Réaménagement du pôle RER Châtelet - Les Halles. Groupe de Travail Thématique. 2009.
- Turner, A. (2004). Depthmap 4 - A Researcher's Handbook. *Bartlett School of Graduate Studies*.
- Turner, A. (2008). Getting Serious with Depthmap. *UCL*, 18-25.
- Van Der Hoeven, F. et Van Nes, A. (2014). Improving the design of urban underground space in metro stations using the space syntax methodology. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 40, 64-74. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.09.007>
- Varoudis, T. et Psarra, S. (2014). Beyond two dimensions: Architecture through three-dimensional visibility graph analysis. *The Journal of Space Syntax*, 5(1), 91-108.
- Wang, X., Yang, M., Li, W., Yuan, L., Ren, Q., Xie, Q. et Liu, R. (2025). Natural movement: Measuring optimal pathway configuration of museum layout and pedestrian accessibility through visibility graph analysis and intelligent agent simulation. *Frontiers of Architectural Research*, 14(5), 1228-1248. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2025.03.001>
- Yuan, H. et Zhou, Y. (2025). The impact of crowds on visibility in emergency department: Integrating agent-based simulation and space syntax analysis. *Frontiers of Architectural Research*, S2095263525000196. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2025.01.007>
- Zhong, Y., Tan, Z., Mavros, P., Hölscher, C. et Tunçer, B. (2024). Estimating Relative Pedestrian Crowd Distribution: A visibility-graph-based analysis workflow for malls during early design stage (p. 433-442). *eCAADe 2024: Data-Driven Intelligence*. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2024.2.433>

Annexes

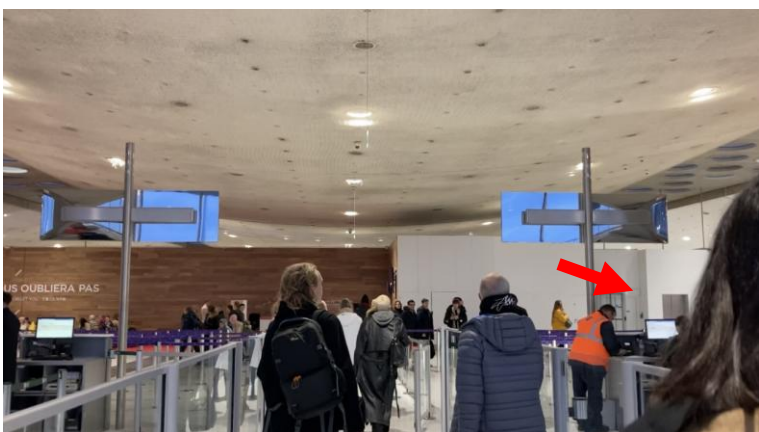
Annexe 1 : Difficultés observées dans le Terminal 2B



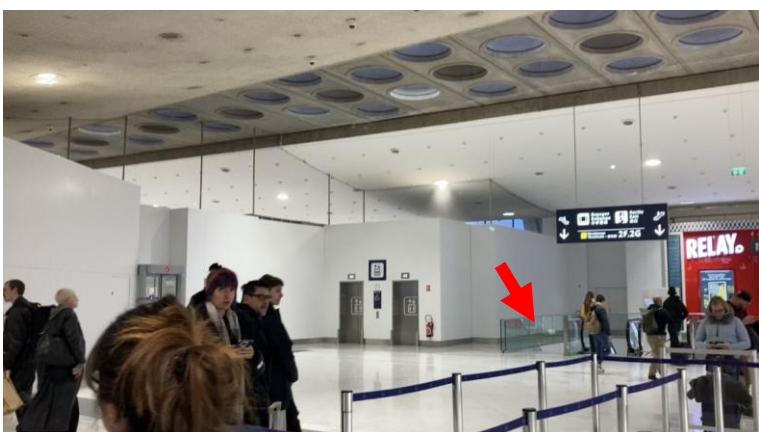
Les escalateurs qui descendent à la zone des arrivées sont cachés, l'entrée n'est pas évidente. Difficulté de retrouver cette zone pour venir chercher les passagers arrivants.



Dès la sortie de la zone Duty-free les usagers se retrouvent face aux îlots des cafés, le passage vers les portes d'embarquement est loin et pas facile à remarquer.



Suite à la sortie de l'avion pour les passagers arrivants, ils passent dans une énorme salle d'attente.



Ici, l'exposition visuelle à l'espace autour est trop élevée pour remarquer facilement la descente vers la zone des bagages.

Annexe 2 : Parcours de l'utilisateur dans la zone étudiée et le terrain d'étude



Les passagers approchent la sortie depuis la zone de bagages qui mène à la zone d'arrivées.



Après avoir passé par les portes, le passager arrive dans le point de départ A.



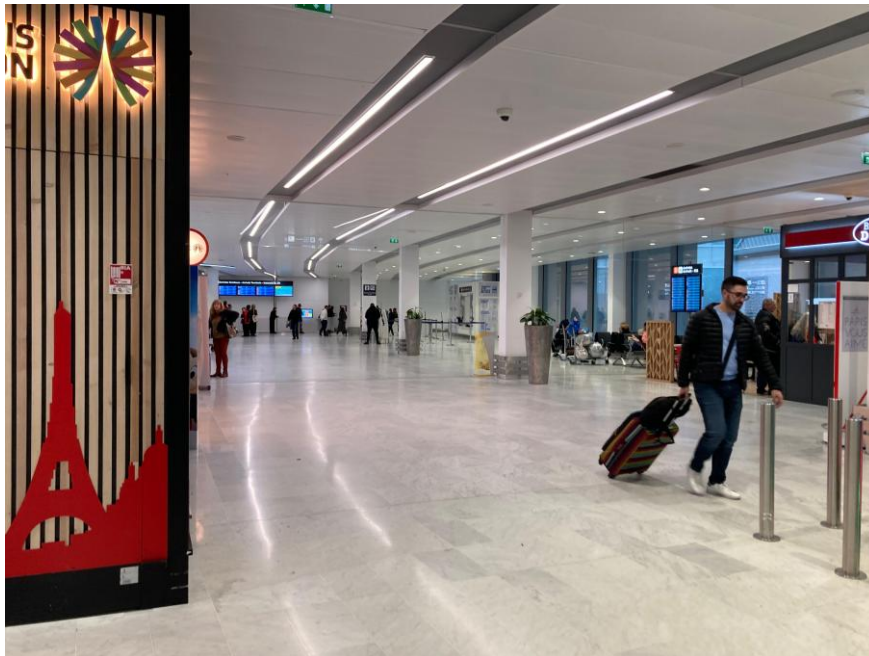
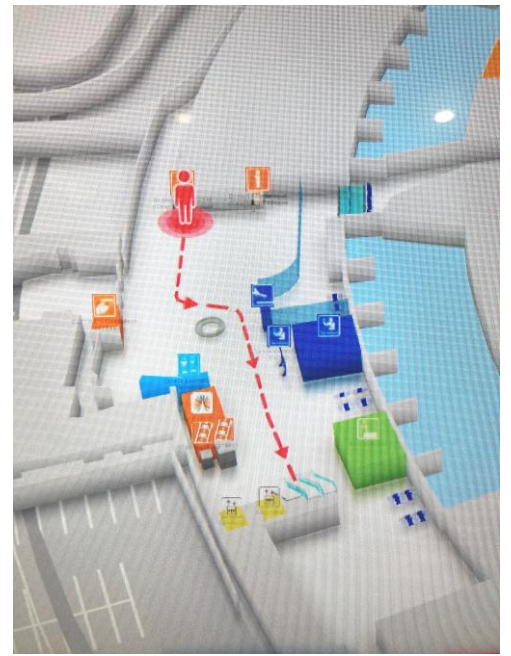
Il passe au long des barrières physiques basses à sa gauche.



Le passager tourne ensuite dans la direction des éclairages au plafond.



Il continue le chemin le long de la partie centrale de l'espace vers le point de destination B – les escalateurs qui mènent à la sortie.

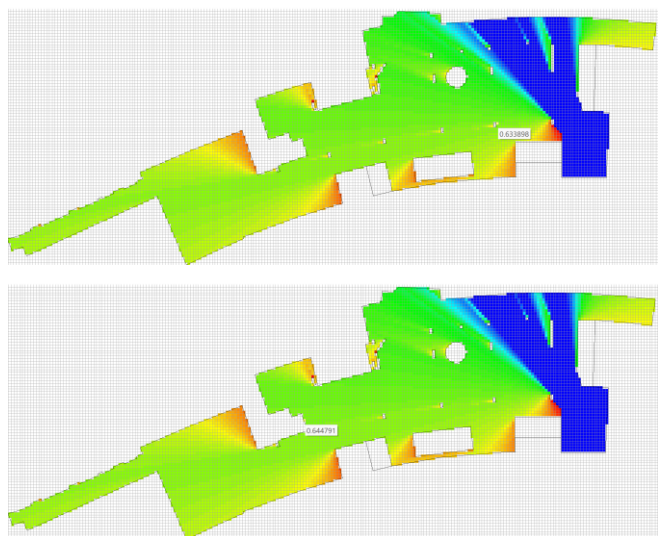


Documentation photographique de l'espace analysé.

Annexe 3 : Explication du choix des mesures de déplacement et de déviation

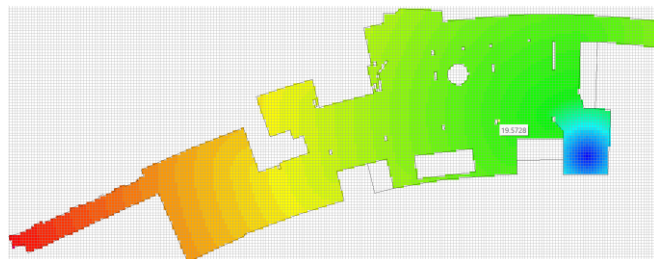
Dans certains cas de wayfinding c'est plus efficace de suivre un chemin plus long et droit plutôt qu'un chemin plus court aux plusieurs virages. Le but des analyses 2 et 3 était alors de combiner dans un calcul l'effort pour atteindre un certain point (provenant de la complexité de l'espace) et la distance jusqu'à ce point (provenant des dimensions de l'espace). Dans le cas du terminal aéroportuaire, l'effort de faire un détour est un facteur négatif car les nombreux déviations compliquent la recherche de la destination. D'ailleurs, la distance peut aussi compliquer la navigation, car plus grande est distance, plus grande est la foule des autres passagers qui bloquent la vue.

Vu qu'on se déplace autour des obstacles, on a besoin d'une mesure comprenant les variables de déplacement et de déviation. *L'Angle du chemin (Metric Step Shortest – Path Angle)* est celle proposée par *depthmapX* pour évaluer en même temps l'impact de la distance et de la déviation angulaire

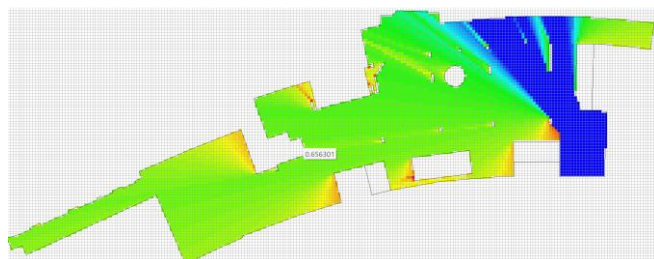
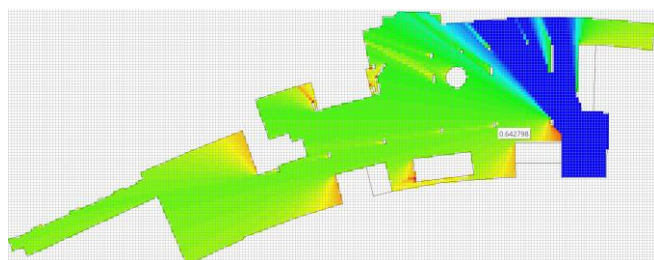


Profondeur du pas angulaire (Angular Step Depth) depuis le point A

(valeurs proches pour les points B1 et B0)



Longueur du chemin (Path Length) depuis le point A (valeurs très différents pour les points B1 et B0)



Angle du chemin (Metric Step Shortest – Path Angle) depuis le point A

(valeurs toujours proches pour les points B1 et B0 après que *depthmapX* ait fait une combinaison lui-même)

Après avoir combiné *Profondeur du pas angulaire (Angular Step Depth)* avec la *Longueur du chemin (Path Length)*, la différence entre les valeurs des points B0 et B1 aurait dû s'agrandir à cause d'une plus grande distance $A-B1 > A-B0$. En revanche, un tel résultat n'a pas été observé, alors la mesure de *Metric Step Shortest – Path Angle*, proposée par *depthmapX* n'est pas satisfaisante. Le résultat observé sur le graph n'est pas satisfaisant, peut-être que l'option marche mieux pour les cartes des rues aux segments.

Alors je propose ma propre combinaison des mesures :

Angular Step Depth qui calcule le nombre des tournures (à quel point le chemin est sinueux)

Metric Step Shortest – Path Length qui calcule la distance (quelle est la longueur du chemin).

Annexe 4 : Traitement des données dans les tableaux *Excel*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Ref	x	y	Intelligibility	Visual Step Depth	Angular Step Depth	Metric Step Shortest-Path Length	Difficulte	/ Int
2	65544	657287	417487,5	4955,588099	3	0,76397961	110,68151	253,6752505	0,051189737
3	65545	657287	417488	2050,2075	3	0,75255263	110,53643	249,5534433	0,121721066
4	131077	657287,5	417486	4846,287046	3	0,80163318	110,69019	266,198787	0,054928399
5	131078	657287,5	417486,5	4996,649644	3	0,79043412	110,52038	262,0772379	0,052450593
6	131079	657287,5	417487	4989,803478	3	0,77909142	110,35833	257,9376841	0,051692954
7	131080	657287,5	417487,5	4969,270742	3	0,7676096	110,20419	253,7813826	0,051070146
8	131081	657287,5	417488	4391,668385	3	0,75599378	110,05713	249,6075172	0,056836604
9	196614	657288	417486,5	5030,898425	3	0,79456496	110,04921	262,3237384	0,052142523
10	196615	657288	417487	5147,553424	3	0,78304267	109,88444	258,1326159	0,050146661
11	196616	657288	417487,5	5010,345674	3	0,77137375	109,72768	253,923156	0,050679768
12	196617	657288	417488	4989,803478	3	0,75956357	109,57861	249,6957606	0,050041201
13	262150	657288,5	417486,5	5044,605677	3	0,79884708	109,57906	262,3237363	0,052057733
14	262151	657288,5	417487	5106,343889	3	0,78714049	109,41147	258,3665943	0,050597179
15	262152	657288,5	417487,5	5051,461038	3	0,77527934	109,25199	254,1024321	0,05030276
16	262153	657288,5	417488	5044,605677	3	0,76326907	109,10078	249,8197527	0,049522157
17	327686	657289	417486,5	5024,046534	3	0,80328858	109,10996	262,9403545	0,052350369
18	327687	657289	417487	5154,425384	3	0,79139286	108,93947	258,6417562	0,050178582
19	327688	657289	417487,5	5195,682279	3	0,77933419	108,77719	254,3213498	0,048948595
20	327689	657289	417488	5078,893484	3	0,76711804	108,62329	249,980656	0,049219511
21	327690	657289	417488,5	5051,461038	3	0,75475037	108,47676	245,6186242	0,048623284
22	393222	657289,5	417486,5	5058,317453	3	0,80789798	108,64199	263,3149328	0,052055834
23	393223	657289,5	417487	5202,562352	3	0,79580837	108,46849	258,9603967	0,049775549
24	393224	657289,5	417487,5	5195,682279	3	0,78354669	108,30333	254,5821472	0,04899879
25	393225	657289,5	417488	5120,075811	3	0,77111852	108,14664	250,1816309	0,048862876
26	393226	657289,5	417488,5	5085,754505	3	0,75853008	107,99799	245,759172	0,048323051
27	458756	657290	417485,5	4969,270742	3	0,83669651	108,55302	272,477799	0,054832553

Extrait des données du tableau *Excel* : rassemblement des mesures pour effectuer le calcul de l'inaccessibilité (difficulté d'atteindre) par rapport au point A [2], puis la division par l'intelligibilité – le résultat final [4].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Ref	x	y	Intelligibility	Visual Step Depth	Angular Step Depth	Metric Step Shortest-Path Length	Difficulte	x Int
2	65544	657287	417487,5	4955,588099	3	1,1641617	58,979004	205,9832927	1020768,354
3	65545	657287	417488	2050,2075	3	1,1527348	58,833923	203,4597314	417134,6672
4	131077	657287,5	417486	4846,287046	3	1,2018152	58,987686	212,6768929	1030693,271
5	131078	657287,5	417486,5	4996,649644	3	1,1906163	58,817871	210,0885478	1049738,868
6	131079	657287,5	417487	4989,803478	3	1,1792735	58,655823	207,5137731	1035452,946
7	131080	657287,5	417487,5	4969,270742	3	1,1677917	58,501686	204,95335	1018468,686
8	131081	657287,5	417488	4391,668385	3	1,1561759	58,354622	202,4046228	888893,983
9	196614	657288	417486,5	5030,898425	3	1,1947471	58,346703	209,1286626	1052105,059
10	196615	657288	417487	5147,553424	3	1,1832248	58,181931	206,526911	1063108,308
11	196616	657288	417487,5	5010,345674	3	1,1715559	58,025169	203,9391873	1021805,825
12	196617	657288	417488	4989,803478	3	1,1597457	57,876106	201,3646952	1004770,256
13	262150	657288,5	417486,5	5044,605677	3	1,1990292	57,876549	208,1870167	1050221,407
14	262151	657288,5	417487	5106,343889	3	1,1873226	57,708961	205,5574609	1049647,084
15	262152	657288,5	417487,5	5051,461038	3	1,1754615	57,549484	202,9416084	1025151,628
16	262153	657288,5	417488	5044,605677	3	1,1634512	57,39827	200,3402583	1010637,605
17	327686	657289	417486,5	5024,046534	3	1,2034707	57,407455	207,2645702	1041306,845
18	327687	657289	417487	5154,425384	3	1,1915751	57,236961	204,6064126	1054628,487
19	327688	657289	417487,5	5195,682279	3	1,1795163	57,074684	201,9615603	1049328,1
20	327689	657289	417488	5078,893484	3	1,1673001	56,920784	199,3309106	1012380,463
21	327690	657289	417488,5	5051,461038	3	1,1549325	56,774254	196,7112933	993679,434
22	393222	657289,5	417486,5	5058,317453	3	1,2080801	56,939484	206,3623726	1043846,391
23	393223	657289,5	417487	5202,562352	3	1,1959904	56,765987	203,6747265	1059630,464
24	393224	657289,5	417487,5	5195,682279	3	1,1837288	56,600822	201,0000693	1044332,498
25	393225	657289,5	417488	5120,075811	3	1,1713006	56,444138	198,3391581	1015511,526
26	393226	657289,5	417488,5	5085,754505	3	1,1587121	56,295483	195,690772	995235,252
27	458756	657290	417485,5	4969,270742	3	1,2364724	56,850533	210,8823449	1047931,467

Extrait des données du tableau *Excel* : rassemblement des mesures pour effectuer le calcul de l'inaccessibilité (difficulté d'atteindre) par rapport au point B [3], puis la division par l'intelligibilité – le résultat final [5].

	A	B	C	D
1	Ref	x	y	Difficulte
2	65544	657287	417487.5	253.675250532033
3	65545	657287	417488	249.553443321933
4	131077	657287.5	417486	266.198787013513
5	131078	657287.5	417486.5	262.077237922097
6	131079	657287.5	417487	257.937684085586
7	131080	657287.5	417487.5	253.781382612672
8	131081	657287.5	417488	249.607517173954
9	196614	657288	417486.5	262.323738425045
10	196615	657288	417487	258.132615867164
11	196616	657288	417487.5	253.9231560012
12	196617	657288	417488	249.695760621713
13	262150	657288.5	417486.5	262.610736330434
14	262151	657288.5	417487	258.366594322261
15	262152	657288.5	417487.5	254.10243210266
16	262153	657288.5	417488	249.819752660624
17	327686	657289	417486.5	262.94035449677
18	327687	657289	417487	258.641756190553
19	327688	657289	417487.5	254.321349777378
20	327689	657289	417488	249.980655969455
21	327690	657289	417488.5	245.618624239204
22	393222	657289.5	417486.5	263.314932792541
23	393223	657289.5	417487	258.960396669784

Extrait des valeurs de l'inaccessibilité par rapport au point A [calcul 2], sauvegardées séparément, prêtes à être exportées pour l'importation dans *depthmapX*.

	A	B	C	D
1	Ref	x	y	/ Int
2	65544	657287	417487.5	0.0511897368111008
3	65545	657287	417488	0.12172106643934
4	131077	657287.5	417486	0.0549283986913647
5	131078	657287.5	417486.5	0.0524505932163566
6	131079	657287.5	417487	0.0516929544918306
7	131080	657287.5	417487.5	0.0510701460573073
8	131081	657287.5	417488	0.0568366040655234
9	196614	657288	417486.5	0.0521425233127028
10	196615	657288	417487	0.0501466608746017
11	196616	657288	417487.5	0.0506797679287627
12	196617	657288	417488	0.0500412013714849
13	262150	657288.5	417486.5	0.0520577331787411
14	262151	657288.5	417487	0.0505971787150782
15	262152	657288.5	417487.5	0.0503027599680635
16	262153	657288.5	417488	0.049522156666215
17	327686	657289	417486.5	0.052336369242867
18	327687	657289	417487	0.0501785818790468
19	327688	657289	417487.5	0.0489485954192721
20	327689	657289	417488	0.0492195114422618
21	327690	657289	417488.5	0.0486232839117375
22	393222	657289.5	417486.5	0.0520558338351028
23	393223	657289.5	417487	0.0497755488831831

Extrait des valeurs de l'inaccessibilité ajustée par rapport au point A [calcul 4], prêtes à être exportées pour l'importation dans *depthmapX*.

	A	B	C	D
1	Ref	x	y	Difficulte
2	65544	657287	417487.5	205.98329268284
3	65545	657287	417488	203.459731387861
4	131077	657287.5	417486	212.676892942882
5	131078	657287.5	417486.5	210.088547831692
6	131079	657287.5	417487	207.513773053772
7	131080	657287.5	417487.5	204.953350040419
8	131081	657287.5	417488	202.404622830029
9	196614	657288	417486.5	209.128662611434
10	196615	657288	417487	206.526911013266
11	196616	657288	417487.5	203.939187271341
12	196617	657288	417488	201.364695198733
13	262150	657288.5	417486.5	208.187016738692
14	262151	657288.5	417487	205.557460853456
15	262152	657288.5	417487.5	202.941608360598
16	262153	657288.5	417488	200.340258328272
17	327686	657289	417486.5	207.264570162206
18	327687	657289	417487	204.606412581813
19	327688	657289	417487.5	201.961560286048
20	327689	657289	417488	199.330910565835
21	327690	657289	417488.5	196.711293323565
22	393222	657289.5	417486.5	206.362372574005
23	393223	657289.5	417487	203.674726495574

Extrait des valeurs de l'inaccessibilité par rapport au point B [calcul 3], sauvegardées séparément, prêtes à être exportées pour l'importation dans *depthmapX*.

	A	B	C	D
1	Ref	x	y	x Int
2	65544	657287	417487.5	1020768.35381192
3	65545	657287	417488	417134.667239378
4	131077	657287.5	417486	1030693.27116755
5	131078	657287.5	417486.5	1049738.8677317
6	131079	657287.5	417487	1035452.94641285
7	131080	657287.5	417487.5	1018468.68591272
8	131081	657287.5	417488	888893.983020009
9	196614	657288	417486.5	1052105.05941696
10	196615	657288	417487	1063108.30785187
11	196616	657288	417487.5	1021805.82470404
12	196617	657288	417488	1004770.25634836
13	262150	657288.5	417486.5	1050221.40653852
14	262151	657288.5	417487	1049647.08402629
15	262152	657288.5	417487.5	1025151.62770379
16	262153	657288.5	417488	1010637.60451448
17	327686	657289	417486.5	1041306.84534443
18	327687	657289	417487	1054628.48682272
19	327688	657289	417487.5	1049328.09971643
20	327689	657289	417488	1012380.46291234
21	327690	657289	417488.5	993679.434037262
22	393222	657289.5	417486.5	1043846.3907304
23	393223	657289.5	417487	1059630.46411977

Extrait des valeurs de l'inaccessibilité ajustée par rapport au point B [calcul 5], prêtes à être exportées pour l'importation dans *depthmapX*.

Annexe 5 : Transformation du fichier .csv pour le réimporter dans *depthmapX*

```
python

with open("Intelligibilite.csv", "r", encoding="ISO-8859-1") as f:
    content = f.read()

content = content.replace(";", ",")

with open("Intelligibilite_commas.csv", "w", encoding="utf-8") as f:
    f.write(content)

print("Done!")
```

Code créé par ChatGPT pour convertir un fichier CSV du type « *semicolon-delimited* » au « *comma-delimited* ».

3. Save the code above as a file, for example:

```
convert_csv.py
```

Копировать код

4. Put `convert_csv.py` in the same folder as your CSV file.

5. Run it from a terminal / command prompt:

```
bash
```

```
python convert_csv.py
```

Копировать код

You'll get a new CSV with **commas instead of semicolons**, ready for *DepthmapX*.

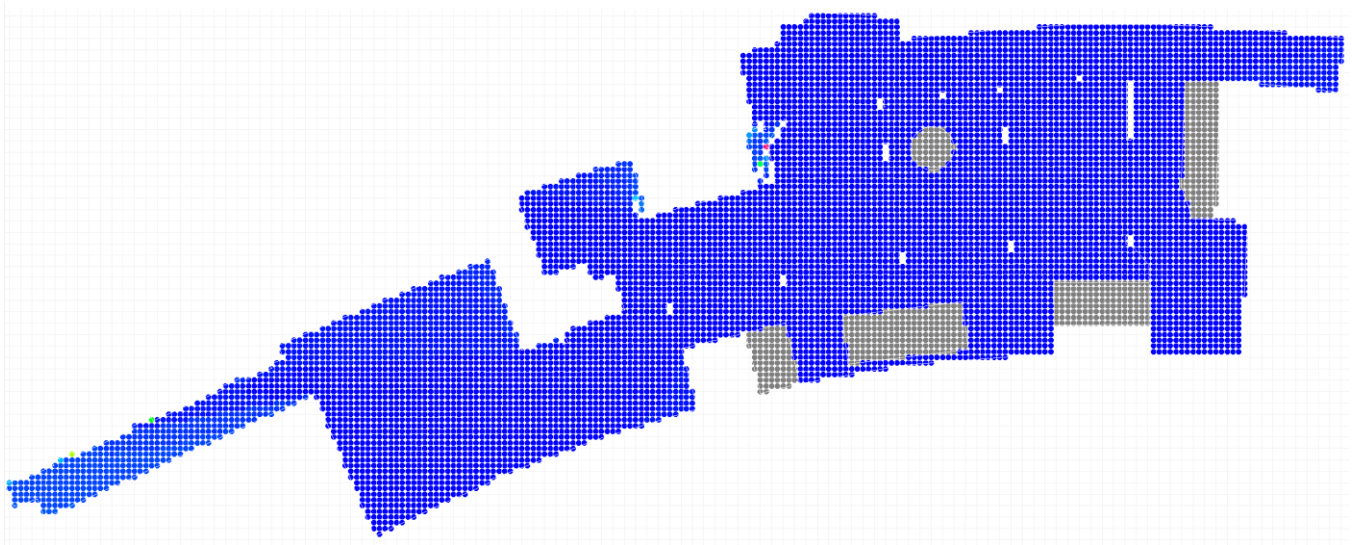
Procédure de préparation du fichier CSV pour la réimportation dans *depthmapX*.

```
Invite de commandes
Microsoft Windows [version 10.0.26100.7462]
(c) Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

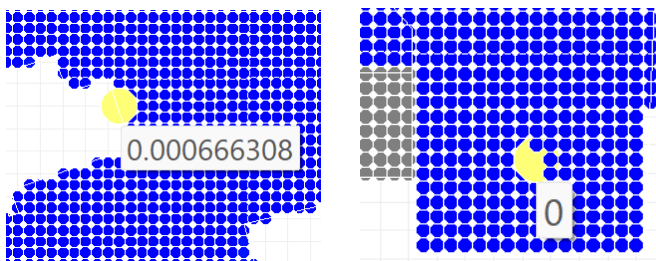
C:\Users\alisa>python convert_csv.py
Done!
```

Exécution du code créé sur mon ordinateur.

Annexe 6 : Ajustement de la visualisation des valeurs du calcul final



Représentation initiale des résultats du calcul [4] sur un graphe dans *depthmapX*.

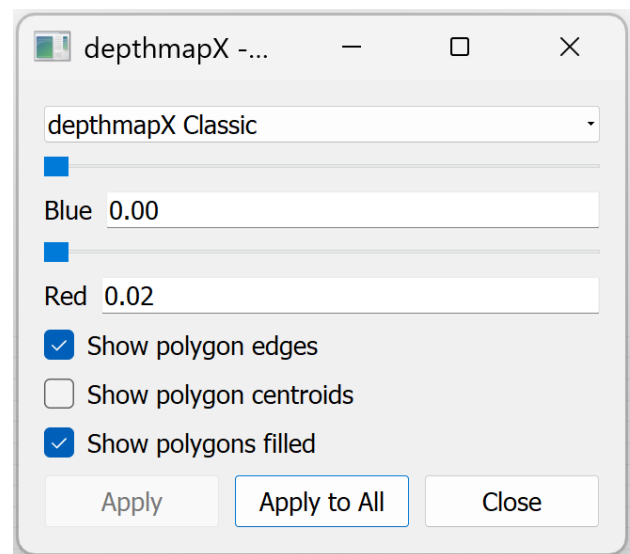


Les valeurs des points B et A qui s'affichent de la même manière.

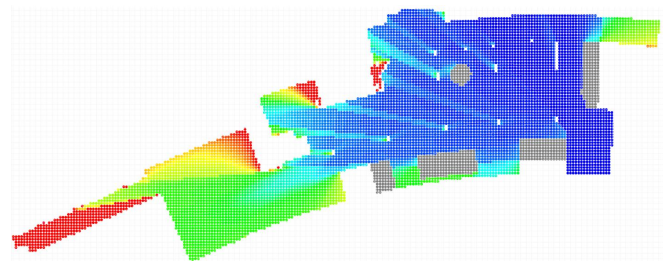
L'inaccessibilité des pixels par rapport au point de départ A, divisée par leur intelligibilité, a été affichée de manière pas claire sur le nouveau graph créé.

Le calcul a fourni des valeurs de l'inaccessibilité ajustée depuis le départ A, mais l'écart type des résultats s'est avéré dix fois plus grand que la valeur moyenne pour les pixels du système. Cela veut dire que les calculs effectués ont produit une très large variété de valeurs.

Par conséquent, j'ai fallu ajuster la valeur maximale visible pour rendre l'éventail des valeurs plus lisible sur le graph. La valeur des pixels rouge a été diminuée jusqu'à 0.02, ce qui a permis de mieux voir la répartition des valeurs plus basses sur le graphe.



Modification de la valeur maximale affichée dans *depthmapX*.



Graph final de l'inaccessibilité ajustée.