

Х





X

origine PI

Théoriser et Modéliser pour Aménager: thema.univ-fcomte.fr Image, Ville et Environnement imaville.u-strasbg.fr

Logiciel de transformation

Besançon, Strasbourg

Introduction

Les transformations cartographiques unipolaires produites par le logiciel « *IsoDistAngle* » sont au nombre de trois, correspondant, chacune, à une méthode différente. Connaissant les positions géographiques de n lieux, elles ont pour but de trouver, à l'aide du calcul vectoriel, les coordonnées de ces n points à partir d'un point origine, en fonction, selon le cas, des éléments suivants (figure 1) :

- les distances (temporelles, cognitives...) entre le point origine et les points considérés comme des points destinations : méthode *IsoDist* ;

 les directions (cognitives...) par rapport aux directions de référence définies par le point origine et les positions géographiques des points destinations ; elles sont exprimées sous forme d'angles : méthode *IsoAngle*;



- les distances et les directions simultanément : méthode DistAngle.

Figure 1. IsoDistAngle et ses trois transformations cartographiques

Ces trois méthodes suivent une démarche similaire, avec des parties communes comme le montre la figure 2, les variantes étant principalement liées aux données utilisées. Les résultats s'expriment pour ces trois méthodes à la fois statistiquement et cartographiquement. Les cartes produites sont nombreuses et les coordonnées calculées fournissent les positions originelles des lieux ainsi que leurs positions homologues comparables en termes de temps, de coûts, d'estimations... Ces positions peuvent être alors traitées par la méthode de la régression bidimensionnelle (logiciel Darcy) afin de mettre en évidence les déformations de l'espace étudié.



Pour une connaissance détaillée de ces méthodes, nous renvoyons aux travaux publiés sur le sujet [Cauvin, 1994 ; 1995, 2004, 2005, 2008, 2010 ; Flesch, 2004 ; Tobler 1996].

La méthode *IsoDist* a été développée en 1992 par Colette Cauvin ; le programme associé a été écrit à la même date par Jacky Hirsch qui l'a ensuite adapté, en 1995, à une station IBM RS 6000. Il a été ultérieurement réécrit en C par Bruno Guérin pour une plateforme MacIntosh. Dans un second temps, il a été repris par Annelise Doms, dans le cadre d'un stage en 2004. Parallèlement, en 2002, *IsoAngle* et *DistAngle* ont été développés sous Excel pour la partie statistique et la partie graphique a été élaborée à l'aide de logiciels graphiques.

Enfin, entre 2006 et 2013, Gilles Vuidel¹ l'a transcrit en Java et a développé dans ce langage l'ensemble du programme (c'est-à-dire les trois méthodes) dénommé IsoDistAngle. Ce programme peut désormais fonctionner tant sur PC (Windows, Linux) que MacIntosh (à partir de MacOS X). La seule contrainte est de disposer d'une plateforme Java (version 1.6 ou ultérieure). Java est gratuit et peut être téléchargé sur le site <u>http://www.java.com/fr/</u>. Après avoir installé Java si nécessaire, il faut télécharger *IsoDistAngle* sur le web, à l'adresse <u>http://thema.univ-fcomte.fr/IsoDistAngle</u>; son utilisation est libre de droit, excepté pour une utilisation commerciale.

¹ Gilles Vuidel, Ingénieur en calcul scientifique, CNRS, laboratoire ThéMA (Besançon, France).

Préparation et lecture des données

Les données à entrer comprennent les coordonnées des lieux (points) – origines et destinations – entre lesquels sont fournies des informations thématiques, accompagnées éventuellement des coordonnées des illustrations, décrivant l'espace étudié ; les informations thématiques (liens et/ou directions) sont des variables *nécessairement quantitatives*. Elles peuvent être préparées dans un logiciel quelconque, tel un tableur ou un éditeur de texte. Les données géographiques peuvent également être produites à l'aide d'un SIG (Système d'Information Géographique) comme ArcGIS, gvSIG ou QGis. Elles sont directement lues lors du lancement du logiciel IsoDistAngle.

1.1. Préparation des données cartographiques [XY]

Les données sont nécessairement des coordonnées cartésiennes, qu'il s'agisse des coordonnées des points (origine ou destination) [XY], ou de celles des illustrations $[XY]^1$; elles peuvent être préparées de deux manières distinctes :

- avec un tableur et enregistrement au format texte .txt ;

- dans un SIG avec enregistrement au format .shp (ESRI shapefile).

Nous présentons ici de manière détaillée la préparation des données avec un tableur et nous compléterons avec les indications nécessaires pour utiliser des données au format *.shp* (*shapefile*) associé au logiciel ArcGIS.

1.1.1. Préparation des données [XY] en format texte

Trois fichiers sont à créer selon les besoins :

- un fichier « origine » comprenant les *n* coordonnées [XY] des points pris pour origine ;

- un fichier « destination » comprehant les *m* coordonnées [XY] des points pris pour destination ;

Ces deux fichiers sont obligatoires. Si les origines et les destinations sont identiques, un seul fichier suffit. Si elles diffèrent, deux fichiers sont indispensables.

- éventuellement, un fichier « illustration » regroupant tous les tracés concernant le fond de carte. Par exemple : un contour général, des unités administratives (polygones), le réseau de transport étudié, des tracés repères (cours d'eau, bâtiments, etc.)...

¹ Les coordonnées des illustrations sont exprimées dans le même système de référence que les points (lieux origines ou destinations).

Chaque ligne comprend une coordonnée *X* et une coordonnée *Y*, séparées par des espaces ou des tabulations indifféremment, définissant la position d'un lieu. La décimale est caractérisée par un point ; s'il n'y a pas de décimale, le nombre peut ou non être suivi d'un point.

Exemples	2.15	ou	2.6
	2.	ou	2

1.1.1.1. *Préparation du fichier des lieux³ (origine ou/et destination)*

Il comprend les coordonnées des lieux, origine ou destination. Son organisation est la suivante (figure 3) :

- une ligne, en tête de fichier, indiquant le titre ;

-n lignes avec, chacune, une paire de coordonnées correspondant à la localisation d'un point ; n est égal au nombre de points origines. Si les origines et les destinations sont distinctes, n désigne le nombre de points origine et m le nombre de points destinations. Chaque coordonnée d'une paire est séparée par un espace ou une tabulation.

Coordonnées XY des	s centres - Exemple 5 pc	vints
0.0	0.0	
1.5	28.5	
5.0	14.0	
17.5	5.0	
22.5	14.5	

Figure 3. Exemple d'un fichier de points/lieux

Si les origines et les destinations sont identiques, le fichier de points contient la ligne titre plus n lignes de paires de coordonnées.

Si les origines et les destinations sont distinctes, il faut préparer deux fichiers différents, construits selon le même modèle (figure 4). Le fichier des origines contient une ligne titre et n lignes de points origines (n: nombre de points correspondant à des lieux origines), le fichier des points destinations une ligne titre également et m lignes de paires de coordonnées (m: nombre de points correspondant à des lieux destinations).

Fichier 1	Fichier 2
Lieux origines <i>n</i> = 2	Lieux destinations <i>m</i> = 3
Coordonnees des origines 0 0 5 14	Coordonnees des destinations 1.5 28.5 17.5 5 22.5 14.5

Figure 4. Exemple d'un fichier de lieux origines différent de celui des lieux destinations

1.1.1.2. Préparation du fichier d'illustrations

Les illustrations (figure 5) peuvent être des points (villes), des lignes (routes, rivières, frontières, et/ou des surfaces (limites d'unités administratives, de bassins-versants, etc.). Le fichier correspondant contient donc des points, des lignes et/ou des surfaces.

³ Désormais, nous retiendrons le terme lieu, sachant qu'il s'agit de lieu correspondant à une position ponctuelle, afin d'éviter des confusions.



Figure 5. Exemples d'illustrations

La préparation du fichier illustration est similaire à celle des fichiers des points (figure 6).

- une ligne, en tête de fichier, indiquant le titre ;

-p lignes avec, chacune, une paire de coordonnées correspondant à la localisation d'un point de la figure ; p est égal au nombre de points nécessaires pour décrire les chaînes qui traduisent les formes à tracer : ligne ouverte, polygone fermé ou contour externe...

Chaque forme surfacique est constituée d'un ensemble de coordonnées [XY] dont la première et la dernière paires sont identiques ; elle est fermée par un A majuscule en colonne 1 inscrit sur la ligne de la dernière paire de coordonnées. Une série de surfaces est donc caractérisée par une suite de coordonnées, où chaque A placé en colonne 1 annonce la fin de la description d'une entité surfacique.

Il en est de même pour une suite d'entités linéaires, simplement *la première et la dernière paires de coordonnées d'une entité linéaire ne sont pas identiques*. Un A sépare toujours les entités linéaires entre elles.

Chaque coordonnée d'une paire est séparée par un espace ou une tabulation. Chaque forme est terminée par un A (majuscule) en colonne 1, placé devant la dernière paire de coordonnées de la forme décrite et séparé de cette dernière par un espace ou une tabulation. Il y a autant de A que de formes ou de chaînes distinctes.

Exemp	ole 1 : Lignes ouvertes		Example	2 · Polya	anas formás
1	1 J Ligne 1		Exemple	s.roiyg	ones termes
6	6 X11Y11		1	1 7	
5	$\begin{array}{c c} 10 & et \\ 12 & X1_{P}Y1_{P} \end{array}$		8	7	Polygone A
10	Différents		5	16	75
A 20	20		16	19	XA1YA1
25	D Ligne 2		15	20	et
15	2 X21Y21		30	12	Identiques
19	9 X2pY2p	٨	23	5	ndonnquoo
A 11	13 Différents	А	30		
			40	13	Polygone B
Exem	ple 2 : Contour fermé		38	4	
7	1 -		32	0	XB1YB1
1	1]		23	5	XBnYBn
3	0 15		30	12	Identiques
12	20	А	30	18 _	
20	20		16	19	Polygone C
12	24 et		19	23	
14	$X_n Y_n$		30	18	XC1YC1
32	7 Identiques		30	12	et VC VC
23	3		15	20	Identiaues
20	6	А	16	19	
13					
A 7	1				

Figure 6. Exemples de fichiers pour les illustrations

Le fichier peut ainsi comprendre simultanément des informations spatiales ponctuelles, linéaires ou surfaciques, placées les unes après les autres, le A (majuscule) séparant et identifiant les chaînes correspondant aux diverses formes à représenter.

Les illustrations ne sont pas indispensables, mais elles facilitent grandement la lecture et l'interprétation des images après transformation.

1.1.2. Données [XY] provenant d'un SIG

Lorsque les données [XY] proviennent d'un SIG comme ArcGis, des fichiers *.shp* (*shapefile*) peuvent être utilisés pour fournir les coordonnées [XY] des lieux origines et/ou destinations ainsi que celles des entités illustrations. Il faut simplement un champ identifiant pour les origines et pour les destinations.

1.2. Préparation des attributs thématiques [Z]

Les données thématiques (*variables quantitatives*) expriment des liens entre un lieu pris comme origine et des lieux destinations. Il peut s'agir de distances (*IsoDist*) ou de directions (*IsoAngle*) ou des deux simultanément (*DistAngle*). Ces données se présentent sous la forme d'une matrice ou d'un vecteur et doivent être enregistrées dans un fichier texte. Les données étudiées sont stockées dans un fichier unique qu'il s'agisse d'un vecteur ou d'une matrice.

Dans un fichier texte, les données [Z] comprennent les lignes suivantes (figure 7) :

Dans le cas d'un vecteur :

-m lignes contenant chacune une valeur unique, *m* correspondant au nombre de destinations. Ce vecteur-colonne exprime les distances ou les directions entre un lieu origine et les *m* destinations.

Dans le cas d'une matrice :

- avec plusieurs lieux origines différents

m lignes et n colonnes, m étant le nombre de destinations et n le nombre d'origines. Chaque valeur d'une ligne est séparée par un espace ou une tabulation. Les données (distances ou angles) étant des données quantitatives, elles incluent la plupart du temps une décimale, caractérisée par un point ; s'il n'y a pas de décimale, le nombre peut ou non être suivi d'un point.

- si les origines et les destinations sont identiques, la matrice est une matrice carrée de dimensions $n \times n$, le nombre d'origines étant égal au nombre de destinations. Cette matrice peut être symétrique ou non ;

- si les origines et les destinations sont différentes, le nombre de lignes doit être égal à m nombre de destinations, donc m nombre de lignes du fichier de coordonnées des points destinations ; le nombre de colonnes doit être égal à n nombre d'origines, donc n nombre de lignes du fichier de coordonnées des points origines.

- avec un seul lieu origine

Ces données correspondent alors, par exemple, à des estimations de distances ou de directions, à partir d'un lieu, par plusieurs personnes distinctes (étude en cognition spatiale), ou à des mesures de temps à partir d'un lieu selon différents modes de locomotion (étude en accessibilité).

- les *m* lignes correspondent toujours au nombre de destinations ;

- les k colonnes correspondent au nombre d'individus, de réponses, etc. selon l'étude ; k = 1 dans le cas d'un vecteur ;

- l'origine est la même pour toutes les colonnes; elle apparaît, la plupart du temps, avec une valeur nulle, donc une ligne ne comprenant que des zéros à la même place dans toutes les colonnes si k > 1.

Un fichier de données thématiques [Z] se présente alors comme indiqué dans la figure 7 et doit être sauvegardé en mode texte (*.txt*).

1. Exem	nple d'un Origines	e matrice = destina	carrée as ations [5 x	ymétriqu 5]	e	d	2. Exemp 'un vecteur	le [5 x 1]	
Destinations = m = n = 5	0 38 23 27 47	Origii 36 0 16 44 73	nes = n = n 27 18 0 27 45	n = 5 29 42 29 0 39	43 67 45 41 0	Des =	Origina tinations m = 5	e = n = 1 - 0 38 23 27 - 47	
Origine	3. Exe es différe	mple d'ur entes des	ne matrice destinatio) ons [3 x 2]	I	4. Exem Origine identique (iple d'une m ligne 1) pou	atrice [5 x 4 toutes les] "réponses"
L	Destinatic = m = 3	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	rigines = n 7 1 6 3 8	= 2 10 20 0		Destinations = m = 5	Répo 0 0 38 40 23 15 27 29 47 55	0 34 30 30 41	0 42 22 25 39

Figure 7. Exemples de fichiers de données thématiques

1.3. Lecture et affichage des données

Les données se lisent directement avec le logiciel *IsoDistAngle*. Pour ce faire, lancer l'application *IsoDistAngle* en cliquant sur son icône.



Une fenêtre s'affiche avec une barre de menus et une barre d'outils (figure 8) :



Figure 8. Affichage de base du logiciel

- la barre de menus propose 4 menus : Fichier, Matrice, Affichage et ? Le menu déroulant Fichier permet d'appeler les données géographiques ; Matrice et Affichage ne deviennent actifs qu'une fois les données géographiques chargées. Le point d'interrogation ? annonce A propos... ; dans la fenêtre qui

s'affiche, apparaissent le nom et la version du logiciel, le nom des auteurs et du laboratoire d'appartenance du logiciel;

- *la barre d'outils* comprend des icônes classiques de tous les logiciels (main, flèches, zoom, commande de l'ascenseur) et des outils qui ne deviennent actifs qu'après l'affichage des données géographiques : *Ajout couche* et *flèches disposées en carré* (retour à la vue d'ensemble).

1.3.1. Données géographiques

Une fois le logiciel lancé et la fenêtre associée affichée, il est possible de lire les données géographiques et de les afficher.

1.3.1.1. Lecture des données géographiques

Dérouler le menu *Fichier* et sélectionner l'option *Charger les positions* (figure 9). Une nouvelle fenêtre s'affiche qui permet de choisir les fichiers de données à charger.

ichier	Matrice Affichag	je ?			
Char	rger les positions 🚽		KZ Dunamiá		Airest anusha
Expo	orter	~	e Proprie	tes	Ajout couche
Quit	ter	•	. in diamant .	de eles	
	las fishiara	Ment	i inaiquant (ie cha	rger

Figure 9. Chargement des données géographiques

La nouvelle fenêtre (figure 10) comprend trois parties correspondant aux trois catégories de fichiers à charger :

– 1. Bloc origine : fichier des coordonnées des localisations ponctuelles considérées comme des origines; la case *Id* associée n'est active qu'avec un fichier de données préparé avec un SIG (cf. *Précision* plus bas);

- 2. Bloc destination : fichier des coordonnées des localisations ponctuelles considérées comme des destinations si ces dernières ne sont pas les mêmes que les origines. Pour que cette case devienne active et que le chargement soit possible, il faut décocher la case intitulée Même centroïde que origine, active par défaut. La case Id associée n'est active qu'avec un fichier de données préparé avec un SIG (cf. Précision plus bas).

Précision : pour ces deux types de données, si le fichier est un *shapefile*, sélectionner dans la liste déroulante [*Id*], les champs qui fourniront les identifiants pour les origines et les destinations.

SoDistAngle Fichier Matrice Affichage Charger las positions Exporter	Boîte de dialogue permettant de sélectionner les fichiers de données
Quitter	Nouveau projet 🔀
	-Centroïdes origine 1. Bloc origine
Coordonnées des points origine : [X¡Y _i]	Id Identification SIG
Option de différenciation Origine - Destination -	Centroïdes destination 2. Bloc destination
Coordonnées des points destination : [XjYj] (si origines différentes des destinations)	Id Identification SIG
Coordonnées des	Fond (optionnel) 3. Bloc illustration
illustrations (points, lignes ou/et surfaces)	OK Annuler

Figure 10. Lecture des données géographiques

Ces identifiants doivent être uniques et peuvent être identiques ou non pour les origines et les destinations. Il est fortement déconseillé de laisser (*Auto*) lors de l'utilisation de *shapefile* ; en effet, l'ordre de lecture n'est pas garanti et, par suite, la correspondance des points peut être erronée.

-3. Bloc illustration : fichier des coordonnées des illustrations du fond de carte que ce fichier soit construit en format texte ou avec un SIG. Précisons qu'il est possible d'ajouter ultérieurement d'autres couches d'illustrations au format *shapefile* en utilisant l'option *Ajout couche*.

Sélectionner successivement les différents fichiers.

1.3.1.2. Affichage des éléments géographiques

Une fois les fichiers des données géographiques sélectionnés, une fenêtre s'affiche avec trois parties distinctes (figure 11) :

- Partie 1 Barres : barre de menus et barre d'outils décrites précédemment :

- la barre de menus affiche le menu déroulant déjà décrit Fichier ainsi que les menus suivants :

= un menu *Matrice* devenu actif qui permet de lire les données thématiques *Distances* ou *Angles*, et de lancer l'exécution du programme quand les données thématiques sont chargées ;

= un menu *Affichage* qui indique les éléments à afficher après traitements ; il ne fonctionne que lorsque le traitement a été exécuté ;

- la seconde ligne, barre d'outils déjà décrite en 1.3.



Figure 11. Affichage des éléments géographiques

- Partie 2 Gauche : dans la partie gauche, sont indiqués les éléments affichés ou affichables dans la partie de droite ; cette partie gauche est modifiée après chaque traitement. Si l'on clique sur la case couche de la barre d'outils, cette partie de la fenêtre disparaît ; elle réapparaît en cliquant à nouveau sur l'icône couche.

- Les lieux origines ou destinations s'affichent ou non sur la carte, selon que les cases qui sont associées aux termes *Origines* et *Destinations* sont cochées ou non. Avec le clic droit de la souris appliqué sur l'un de ces deux noms, un menu contextuel (figure 12) apparaît qui permet de modifier le *style* (couleur des points et du texte) ou d'exporter les données associées à la couche sélectionnée, soit en fichier *shapefile* (*.shp*), soit en fichier *Texte* (*.txt*).

- L'option *Fond* concerne les illustrations de la carte de référence. Les options disponibles pour leur sauvegarde ou leur modification graphique sont les mêmes que celles utilisées pour les points origines et les points destinations.

- *Partie 3 Droite* : dans la partie de droite, apparaissent les résultats graphiques. Par défaut, s'affiche une figure avec tous les éléments lus : les points origine en bleu et les points destinations en rouge (s'ils diffèrent des points origine) ainsi que les illustrations en bleu.



Figure 12. Modification des signes et exportation des figures

1.3.2. Lecture des données thématiques

instruction Lancer, non active à ce stade.

Les données thématiques (distances ou angles) peuvent être lues à l'aide du menu déroulant annoncé par le mot *Matrice* sur la première ligne de la barre de menus (figure 13). Ce menu présente deux icônes, l'une pour les distances et l'autre pour les directions (Angles), ainsi qu'une

En sélectionnant une des deux icônes, une nouvelle fenêtre s'affiche pour la lecture soit des distances, soit des angles. Ces deux lectures sont successives. Pour la méthode *IsoDist*, seules les distances sont nécessaires ; pour *IsoAngle*, seuls les angles sont impératifs. Dans le cas de *Distangle*, les deux données sont indispensables.



Figure 13. Lecture des distances et des angles

1.3.2.1. Lecture des données distances

Pour les distances, la nouvelle fenêtre affichée comprend deux parties (figure 14):

- Partie 1 : lecture de la matrice ou du vecteur des distances ;
- Partie 2 : choix des distances de référence

Partie 1 : lecture des distances thématiques

Deux options sont prévues :

- option 1: une lecture où la matrice comprend une origine par colonne, c'est-à-dire que chaque colonne de la matrice correspond à une origine différente. Cette lecture est caractéristique d'une matrice origine-destination ;

– option 2 : une lecture où l'origine est toujours la même ; chaque colonne correspond à une lecture différente des distances par rapport à l'origine retenue ; il peut s'agir d'estimations de distances par des sujets dans le cadre d'étude de cognition ou de distances obtenues pour différents modes de locomotion.

Ces matrices ne sont nécessairement ni carrées ni symétriques ; elles peuvent être réduites à un simple vecteur. En cliquant sur l'option choisie, une nouvelle fenêtre apparaît pour la sélection du fichier correspondant.

🕌 Matrice des distances	
Matrice des distances Tionigine par colonne Option 1 individu par colonne Option importer Aucune	Partie 1 1 Lecture des n 2 distances adonnées.
-Distances de référence	Partie 2 Choix des distances de référence
OK	Annuler

Figure 14. Sélection des distances

Option 1 : origine différente pour chaque colonne (figure 15)

Pour la matrice des distances origine-destination, il suffit de la sélectionner dans le bon répertoire, ceci que les origines et les destinations soient identiques ou non (figure 15, option 1a).

Si la matrice est réduite à un vecteur (figure 15,option 1b), une fois le fichier sélectionné, une fenêtre apparaît où il convient d'indiquer le code du lieu origine.

Matrice des distances Matrice des distances O 1 origine par colonne O 1 individu par colonne Point origi Timporter Matrice complète	Option 1 : e matrice complète a été lue e. 1a. Lecture d'une matrice de distances
Point origine La matrice ne contient qu'un seul vecteur. Sélectionner le point origine de ce vecteur	1b. Lecture d'une matrice des distances réduite à un simple vecteur
1	📓 Matrice des distances 🛛 🛛 🔀
Choix du numéro du lieu origine	Matrice des distances 1 origine par colonne 1 individu par colonne Point origine Importer Vecteur, point d'origire 1. Lecture Numéro du d'un vecteur lieu origine

Figure 15. Lecture des distances, origine différente pour chaque colonne

Option 2 : origine identique pour chaque colonne

Pour la matrice où toutes les colonnes correspondent à des distances à partir d'un même lieu origine, cocher la case *1 individu par colonne*.

La case *Point origine* de la fenêtre devient active. Il faut y indiquer le numéro de code du lieu pris pour origine (figure 16). Ce numéro ne s'inscrit pas automatiquement.

On sélectionne ensuite la matrice de distances en cliquant sur la case *Importer*.

Une fois la matrice lue, le nombre d'individus de l'étude s'inscrit à côté de la case *Importer*.

Option 2 : lecture des d	listances
Même origine pour chaque co	plonne (sujets)
🕌 Matrice des distances	
Matrice des distances	Code du
1 origine par colonne	lieu origine
1 individu par colonne Point	vorigine 3
Importer 2 individ	lus. 2 sujets ont ns de distances

Figure 16. Lecture des distances avec origine commune

Partie 2 : distances de référence

Deux options sont possibles (figure 17) :

Option 1: matrice calculée

La matrice des distances de référence est calculée par le programme comme une distance euclidienne. Ce calcul s'effectue directement à partir des coordonnées cartésiennes des centroïdes, c'est-à-dire des points des origines et des destinations. La matrice des distances euclidiennes n'a donc pas à être lue; elle est calculée.

Option 2 : distances fournies (non euclidiennes)

La matrice des distances de référence peut être fournie sous la forme par exemple d'orthodromies. Dans ce cas, il suffit de cliquer sur l'option *Autres*, et le terme *Matrice* ainsi que la case *Importer* deviennent actifs. La lecture de cette matrice (ou du vecteur) est similaire à celle des distances. *Elle est très vivement déconseillée car elle peut aboutir à des incohérences*.

1. Les distances de référence sont calculées comme des distances euclidiennes
2. Les distances de référence sont lues dans un fichier (orthodromies par exemple) OPTION DECONSEILLEE
Distances de référence Cuclidienne Euclidiene Matrice des distances Importer de référence

Figure 17. Distances de référence

1.3.2.2. Lecture des données angulaires

Pour la lecture des directions (i.e. angles), comme pour les distances, lorsqu'on clique sur l'icône *Angles* du menu déroulant lié au terme *Matrice* (barre de menus, Figure 13), une nouvelle fenêtre apparaît. Cette fenêtre comprend deux grandes parties (figure 18) :

 Partie 1 : elle correspond à la lecture des données angulaires proprement dite avec les mêmes options de lecture que celles des distances ;

- Partie 2 : elle correspond à la lecture des caractéristiques des données angulaires.

Partie 1 : Lecture des données angulaires

La partie 1 propose deux options comme dans le cas de la lecture des données de distances :

- option 1 : une lecture où la matrice comprend une origine par colonne, c'est-à-dire que chaque colonne de la matrice correspond à une origine différente.

– option 2: une lecture où l'origine est toujours la même mais où chaque colonne correspond à une lecture différente des directions (angles) par rapport à l'origine ; il s'agit, par exemple, d'une matrice d'estimations de directions par des sujets dans le cadre d'étude de cognition.

Ces matrices ne sont nécessairement ni carrées ni symétriques ; elles peuvent être réduites à un simple vecteur. En cliquant sur l'option choisie, une nouvelle fenêtre apparaît pour la sélection du fichier correspondant.

enêtre ouverte e	n cliquant sur l'icone A	ngles (menu Matric
Matrice d'ang	les	
-Matrice des angles ③ 1 origine par ③ 1 individu par Importe	colonne colonne Point origine Aucune données.	Partie 1 Lecture des angles
-Unité	Orientation Trigonométrique Horaire	Orientation Nord (Y) Est (X)
Partie 2 Lecture des ca	racté-	 Sud (-Y) Ouest (-X)

Figure 18. Lecture des données angulaires

Option 1 : Origine différente pour chaque colonne

Pour une matrice des directions origine-destination, il suffit de sélectionner cette matrice dans le bon répertoire, ceci que les origines et les destinations soient identiques ou non. Si la matrice est réduite à un vecteur, une fois le fichier sélectionné, une fenêtre s'affiche où il convient d'indiquer le code du lieu origine (figure 19).



Figure 19. Lecture des angles, une origine différente par colonne

Option 2 : Origine identique pour chaque colonne

Pour une matrice où toutes les colonnes correspondent à des directions à partir d'un même lieu origine, cocher la case *1 individu par colonne*.

La case *Point origine* de la fenêtre devient active. Il faut y indiquer le numéro de code du lieu pris pour origine (figure 20). Ce numéro ne s'inscrit pas automatiquement.

Une fois la matrice lue, le type de matrice ou le nombre d'individus lu s'inscrit à côté de la case *Importer*.

Partie 2	:	caractéristiques	des	angles
----------	---	------------------	-----	--------

Les caractéristiques des données angulaires sont indiquées en 3 sections distinctes (figure 21) :

– la section 1 précise les unités dans lesquelles les angles sont donnés : radians ou degrés ;

 la section 2 indique le sens dans lequel les données ont été collectées : trigonométrique ou horaire ;

la section 3 signale l'axe origine des données avec les 4 orientations possibles : Nord, Est (la plus fréquente), Sud et Ouest.



Figure 20. Lecture des angles, origine commune



Figure 21. Caractéristiques des angles

Désormais, la lecture des données est achevée ; les choix concernant les traitements et les représentations peuvent être effectués.

Options de calcul et résultats

Les options de calcul permettant de choisir l'application d'une méthode ou d'une autre sont accessibles en cliquant sur l'instruction Lancer, présente dans le menu Matrice, placé sur la première ligne de la barre de menu (figure 22).

Une nouvelle fenêtre apparaît (figure 23), intitulée Paramètres...



Figure 22. Instruction pour appliquer un traitement

En fonction des données lues (distances, angles ou les deux), toutes les options, ou seulement l'une d'elles, sont utilisables : le nom de la méthode active ressort en noir (données lues) ou en grisé

	📓 Paramètres 🔀
Option _ IsoDist	Paramètres
Onting	Relatif à Options DistAngle
IsoAngle	Point origine
	Lancer Annuler

Figure 23. Affichage des paramètres

2.1. Options de calcul

Les options de calcul sont spécifiques pour IsoDist et IsoAngle. DistAngle réunit les paramètres de ces deux méthodes.

(données non lues).

En cochant la case associée à une des méthodes, cette méthode devient active et peut être appliquée.

- Isodistance : pour la méthode IsoDist ;

- IsoAngle : pour la méthode IsoAngle ;

- Isodistance et IsoAngle simultanément : pour la méthode DistAngle.

Le choix du lieu pris pour origine est toujours actif.

2.1.1. Options de calcul pour la méthode IsoDist

Pour rendre actives les options de calcul d'*IsoDist*, cliquer dans la case *Isodistance*. Trois groupes d'options sont alors disponibles concernant la pondération des données, le choix du point origine et la sélection d'un isolignage de référence.

2.1.1.1. Paramètres de pondération

Trois types de pondération sont proposés (figure 24) :

- *Absolu* : absence de pondération. Cette option est rarement à retenir car les déplacements deviennent souvent quelque peu exagérés.

– Relatif au vecteur : la pondération est effectuée en ne prenant en compte que le vecteur lié au point origine, que ce soit une matrice ou un vecteur qui ait été lu en entrée.

- *Relatif à la matrice* : la pondération est calculée sur l'ensemble de la matrice. Cette solution présente l'avantage d'une comparaison quasi directe entre toutes les figures produites, quel que soit le lieu origine, mais les spécificités d'un lieu origine donné sont moins bien prises en compte.

🏄 Paramèti	res	
Potamètres V Isodist Abs Rel	Sélection de la mé ance colu atif au vecteur atif à la matrice	thode IsoDist
Choix de la pondération	Echelle	1.0
Point origine	1 V 1 2 3 4	Annuler — Choix du

Figure 24. Méthode IsoDist : paramètres

2.1.1.2. Choix du point origine

Le choix du lieu origine est possible à l'aide du menu déroulant associé à *Point origine* (figure 24). Ce menu affiche les numéros d'ordre des lieux origines lus en entrée. Une précaution doit être prise :

 si les distances sont lues sous forme de matrice, aucune origine n'a encore été choisie et il faut la sélectionner dans la liste;

- si les distances sont lues sous forme d'un vecteur, alors le lieu origine a déjà été annoncé ; il est donc impératif d'indiquer dans cette option le même numéro. Ce dernier est affiché automatiquement, mais sa vérification est toujours souhaitable.

2.1.1.3. Option graphique

L'option *Isolignes* ne devient active que si on coche la case associée (figure 25). Alors la case *Pas* devient également active ; il est désormais possible d'indiquer le pas à retenir pour l'isolignage. Le pas, donc l'intervalle, entre les valeurs des isolignes s'exprime dans les unités des distances fournies. Si les distances sont en temps, les isolignes seront en minutes; si elles sont en euros (isolignes de coût), les isolignes seront en euros, etc.

ፊ Paramètres	X
Sélection d Pavmètres Selection d Selection d Selecti	e la méthode IsoDist Option Isolignes V Isolignes active Pas 15.0 Intervalle des isolignes
Pondération E relative L	chelle 0.530698 iée à la pondération
Point origine 1 Point origine	ancer Annuler

Figure 25. Option des isolignages

Une fois, les options choisies, les deux premières, seules, étant indispensables, cliquer sur l'instruction *Lancer* de la fenêtre *Paramètres*. Une nouvelle fenêtre apparaît où est affichée la carte résultante avec, par défaut, les lieux de l'étude et les vecteurs de déplacement (figure 26). Si l'option graphique est cochée, se superposent à cette carte, des cercles d'isolignage espacés en fonction du pas indiqué.



déplacement Destination originelle transformée

Figure 26 Affichage graphique direct associé à IsoDist⁴

D'autres résultats et d'autres options graphiques et statistiques sont possibles ; ils seront décrits dans le paragraphe 2.2.

2.1.1.4. *Cas particulier : origine commune (figure 27)*

Lorsqu'on lance l'exécution du programme avec une matrice contenant des données thématiques correspondant à des estimations de distances pour une même origine et plusieurs sujets, la sortie graphique par défaut affiche les résultats pour tous les sujets simultanément (figure 27 A).

Ceci signifie que, à partir de chaque lieu destination, il y a autant de vecteurs de déplacement que de sujets, donc que de colonnes dans la matrice. Ces vecteurs ont tous la même direction, soit les droites qui relient l'origine à chacune des destinations ; le sens dépend des données fournies par chacun des sujets.

Pour obtenir l'affichage par sujet (figure 27B), cliquer sur le menu *Affichage* de la barre de menus, devenu actif, et choisir dans le menu déroulant associé l'option *Individus*... Une nouvelle fenêtre apparaît où le numéro du sujet à représenter peut être sélectionné. Désormais la carte ne comprend plus que les vecteurs du sujet sélectionné et les droites de direction, supports des vecteurs. Tous les résultats sont détaillés dans le paragraphe 2.2.

⁴ Nous avons choisi ici de présenter un exemple géographique, car il est plus expressif qu'un simple exemple théorique de 5 points ; ce dernier apparaît cependant dans les figures suivantes, permettant ainsi de bien suivre la démarche.

B

Individu à afficher

4

Tous

🛏 ndividus...





Figure 27. Lieu origine commun : choix d'un sujet (= d'une colonne)

2.1.2. Options de calcul pour la méthode IsoAngle (figure 28)

Pour rendre actif le calcul d'*IsoAngle*, si des données de direction ont été lues, cliquer sur l'instruction *Lancer* du menu *Matrice* (figure 22), puis dans la case *IsoAngle*, lors de l'affichage de la fenêtre *Paramètres*.

Un seul paramètre est nécessaire, le code du point origine ; mais, comme il a déjà été précisé lors de la lecture, il ne s'agit que d'une vérification-confirmation (figure 28A).

Une fois les paramètres choisis, une carte avec les vecteurs de déplacement s'affiche comme précédemment (figure 28B). Cependant, désormais, ces vecteurs ne sont plus portés par la droite de direction "point origine – point destination".



Figure 28. Options et carte liées à la méthode IsoAngle

Les résultats, tant statistiques que graphiques, sont détaillés dans le paragraphe 2.2.

2.1.3. Options de calcul pour la méthode DistAngle (figure 29)

Pour appliquer la méthode *DistAngle*, il est indispensable d'avoir lu des données de distances **et** d'angles. Cliquer sur l'instruction *Lancer* du menu *Matrice* (figure 22) ; dans la fenêtre *Paramètres* (figure 29A), sélectionner simultanément les options *IsoDist* et *IsoAngle*, donc cliquer **et** dans la case *IsoDist* **et** dans la case *IsoAngle*.

En sortie directe, on obtient toujours, par défaut, une carte avec les vecteurs de déplacement (figure 29B), vecteurs qui ne sont plus, comme pour *IsoAngle*, sur la droite de direction "point origine – point destination".



Figure 29. Options et carte liées à la méthode DistAngle

Les paramètres d'application des méthodes ayant été maintenant présentés, les résultats, tant statistiques que graphiques, peuvent être exposés et détaillés.

2.2. Résultats et sauvegardes

Les résultats des applications sont communs aux trois méthodes. Ils comprennent des résultats numériques et des représentations graphiques.

2.2.1. Résultats numériques

Certains résultats numériques peuvent être lus directement sur l'écran, d'autres, au contraire, doivent être sauvegardés et lus avec un éditeur de texte ou un tableur.

2.2.1.1. Résultats directs

Une fois la carte résultante du traitement demandé affichée, des résultats numériques peuvent être lus directement à l'aide du menu déroulant *Affichage* (première ligne de la barre de menu). Sélectionner l'option *Indices* : une fenêtre apparaît qui donne deux indices globaux (figure 30) : R et RMSE.



Figure 30. Lecture directe des résultats globaux

Le coefficient R indique la liaison entre les positions originelles et les positions après transformation. Il varie de 0 à 1 et s'interprète comme un coefficient de corrélation.

L'indice RMSE (Root Mean Square Error) fournit la distance moyenne de déplacement des lieux, exprimée dans les unités du système de référence.

2.2.1.2. Résultats sauvegardés

D'autres calculs sont effectués au cours des traitements qui sont stockés au fur et à mesure dans des fichiers temporaires. Ils peuvent être sauvegardés dans un fichier selon la procédure suivante.

- Dérouler le menu Fichier et sélectionner l'option Exporter...;

- Une fenêtre d'exportation s'affiche, intitulée Enregistrer;

- Dans la fenêtre *Enregistrer*, sélectionner l'option *Fichier Texte* dans la zone de texte proposant un menu déroulant *Fichiers du type* (figure 31). Attention! Les autres types de fichiers indiqués ne conviennent que pour sauvegarder des figures.

- Les résultats sont sauvegardés dans un fichier de type texte, à sélectionner dans le menu déroulant ; ils peuvent être lus par la suite avec un éditeur de texte ou avec un tableur (Excel, par exemple).

SoDistAngle Fichier Matrice Affichage ? Charger les positions Exporter Quitter	de l'option Exporter auvegarder les ts statistiques	Fenê	tre de sauvegarde
🕌 Enregistrer			
Enregistrer dans : 🛅 Donnees		· 🖻 🖻	
Mes documents récents	TRATIONS		
Nom de fichier :	Nom du fichier résultats à fournir		Enregistrer
Favoris réseau Fichiers du type :	Fichier texte (*.txt)	~	Annuler
	Fichier texte (*.txt)		
Type de fichier et extension	Fichier SVG (*.svg) Shapefile (*.shp)		

Figure 31. Sauvegarde des résultats numériques

Les résultats sauvegardés dépendent des traitements effectués, mais les tableaux se présentent toujours de manière identique ; simplement, selon les méthodes appliquées, certaines colonnes des tableaux ne sont pas remplies.

Le tableau n'est complet qu'avec l'application de la méthode DistAngle.

Des variations existent en fonction de l'option choisie en ce qui concerne l'origine : origine variable ou origine commune. Ces résultats sont interprétables géographiquement.

Présentation générale

Cette présentation des résultats numériques se retrouve quelle que soit l'option choisie, mais à ce stade nous ne faisons que les énumérer ; ils seront explicités en détail dans le chapitre 3, dénommé *Lecture commentée des résultats*.

- Rappel du numéro du point d'origine et de ses coordonnées, ainsi que du type de distances de référence.

- Tableau 1 (Matrice) comprend m lignes, avec m, nombre de destinations, et 12 colonnes identifiées ci-dessous :

- *Id* : code d'identification des lieux,

- Dist, ref, : distance de référence calculée,

- Distance : distance thématique lue,

- Dist, norm, : distance thématique normalisée, transformée par le coefficient d'échelle,

- *DistNorm/DistRef* : indice de déviation de la distance thématique transformée par rapport à la distance de référence,

- *DistNorm-DistRef* : écart en valeur absolue entre la distance thématique transformée et la distance de référence,

- Angle Ref, : angle de référence calculé par rapport à l'axe origine (en radians),

- Angle : angle thématique (en radians),

- Angle-AngleRef : écart angulaire en valeur absolue entre l'angle thématique et l'angle de référence (en radians),

- Angle Ref°, : angle de référence calculé par rapport à l'axe origine (en degrés),

- Angle°: angle thématique (en degrés),

- *Angle-AngleRef* : écart angulaire en valeur absolue entre l'angle thématique et l'angle de référence (en degrés).

- Type de normalisation : pas de normalisation, normalisation relative au vecteur ou à la matrice ; et coefficient d'échelle.

- Tableau 2 : points transformés. Ce tableau concerne les coordonnées des points après traitements et la norme du vecteur résiduel associée à ces déplacements.

- Indices globaux d'évaluation de l'importance des déplacements :

- R : indice équivalent d'un coefficient de corrélation,

- RMSE : déplacement moyen de tous les points après traitement.

Ces deux indices reprennent les résultats directement affichés.

- Moyenne et écart-type de la distance résiduelle

- Moyenne (en radians et en degrés) et variance de l'angle résiduel.

Les tableaux n'ont pas les informations pour les angles lorsqu'on applique *IsoDist*, excepté le calcul de l'angle de référence ; de même avec *IsoAngle*, ce sont les colonnes qui contiennent les informations propres aux distances qui ne sont pas remplies.

Présentation spécifique : origine commune

Lorsque les résultats concernent plusieurs sujets et que le lieu origine est commun à toutes les données, les résultats numériques sauvegardés comprennent :

- les données de référence pour les distances et les angles pour chaque lieu ;

- les statistiques d'ensemble pour chaque lieu compte tenu de tous les sujets : moyenne, écart-type et distance origine-destination ;

- les caractéristiques des ellipses standards si les méthodes *IsoAngle* ou *DistAngle* ont été appliquées : coordonnées X et Y du centre moyen, orientation de l'axe majeur, rayon (longueur) des petit et grand axes, surface, indice de circularité (petit axe/grand axe) ;

- les valeurs moyennes des lieux, en termes d'angles, pour chaque lieu : moyenne et variance ;

- les résultats présentés précédemment pour chaque sujet successivement.

Les résultats numériques ne sont jamais fournis séparément pour un seul sujet.

2.2.2. *Résultats graphiques*

Les résultats graphiques sont affichés en fonction des cases cochées dans la partie gauche de la fenêtre. Par défaut, toutes les cases sont cochées, les destinations éloignées ou rapprochées exceptées. Selon les options choisies, les cartes apparaissent avec des éléments différents. Des variations existent en fonction de l'option choisie pour l'origine (origine variable ou origine commune).

2.2.2.1. Variations liée à l'option "origine"

Comme précédemment, les résultats ont une présentation générale commune et une présentation spécifique liée au cas où l'origine est la même dans toutes les colonnes.

Présentation générale (figure 32)

Les sorties générales proposées par les options du côté gauche de la fenêtre sont les suivantes :

La case *Fond* dévoile les illustrations et permet à l'utilisateur de mieux localiser les lieux pris en compte ;

- La case Origine montre la position du point origine en bleu par défaut ;

 La case Destinations originelles affiche les positions des lieux destinations sur le fond de référence ; les points apparaissent par défaut en rouge ;

- La case *Destinations rapprochées* fait apparaître les positions des destinations après transformation qui expriment une distance plus courte entre l'origine P_I et le point P_j considéré que la distance de référence. Ces points apparaissent par défaut en vert (figure 32 B);

- La case *Destinations éloignées* désigne les positions des destinations après transformation qui traduisent une distance plus longue entre l'origine P_i et le point P_j considéré que la distance de référence. Ces points apparaissent par défaut en bleu pâle ;



Figure 32. Options graphiques

La case Vecteur déplacement visualise, sous la forme d'un vecteur, le déplacement du lieu destination originel après transformation. L'origine de ce vecteur est la position de référence du point destination, son extrémité sa position après transformation. Ces vecteurs apparaissent par défaut en mauve (figure 32 A);

- La case *Isolignes* permet d'afficher les cercles concentriques exprimant les lignes théoriques d'isodistances si l'espace était uniforme. Elle n'est présente dans la partie gauche de la fenêtre que si l'option a été sélectionnée dans les paramètres.

Présentation spécifique : origine commune (figure 33)

Comme pour les résultats statistiques, lorsque les résultats concernent plusieurs sujets et que le lieu origine est commun à toutes les données, les représentations graphiques comprennent en supplément, les cases suivantes :

- La case *Centre moyen* montre, pour chaque lieu destination, la position moyenne de ce lieu après transformation pour chacun des sujets;

- La case *Ellipse* visualise, pour chaque lieu destination, l'ellipse standard calculée sur la position des lieux destinations après transformation pour chacun des sujets.



Figure 33. Options graphiques liées à une origine commune

Toutes les combinaisons sont possibles en fonction des besoins ; de plus, le style graphique peut être modifié selon les souhaits de l'utilisateur en sélectionnant avec le clic droit les couches à modifier et en choisissant les couleurs, les épaisseurs, etc. désirées comme cela a été indiqué dans le paragraphe 1.3.2., figure 12.

2.2.2.2. Sauvegarde des résultats graphiques (figure 34)

Les figures sont à exporter au fur et à mesure de leur production. Chaque carte, en effet, doit être sauvegardée lorsqu'elle a été affichée. Deux possibilités de sauvegarde sont disponibles : soit l'image affichée telle quelle ; soit les couches séparément.

Enregistrement global

Pour enregistrer la carte globalement, procéder comme pour la sauvegarde des résultats statistiques mais en choisissant un type de format différent : soit *SVG*, soit *.shp* (figure 31).

- Dérouler le menu Fichier et sélectionner l'option Exporter...;

- Une fenêtre d'exportation s'affiche, intitulée Enregistrer ;

- Dans la fenêtre *Enregistrer*, sélectionner soit l'option *Fichier SVG*, soit l'option *Fichier .shp* dans la case avec menu déroulant *Fichiers du type* (figure 34). L'option SVG permet de conserver la figure complète en mode vectoriel et la figure peut être lue par des logiciels comme *Illustrator* ou *Inkscape*. L'option 4 enregistre la carte sous la forme de couches d'un logiciel de SIG, ici *ArcGis*. Les flèches ne seront pas enregistrées.



Figure 34. Sauvegarde des fichiers graphiques

Enregistrement par couche

Pour sauvegarder les couches séparément, en fonction des options retenues sur le plan graphique, avec le clic droit sélectionner la couche à sauvegarder et choisir l'option *Exporter*. Comme précédemment, on indique dans le menu déroulant, associé à la zone de texte, le type de fichier à sauvegarder : ici, *.shp*.

Tous les traitements, les résultats numériques et les sorties graphiques sont maintenant connus. Il est possible d'appliquer le logiciel sur des données diverses selon les thématiques envisagées.

La dernière partie de ce mode d'emploi propose la lecture détaillée d'un exemple simple portant sur 5 lieux, mais aucune interprétation géographique ne doit en être faite.

Lecture commentée des résultats

L'ensemble des traitements aboutit à de nombreux résultats tant numériques que graphiques qui nécessitent quelques explications. Dans la troisième partie de ce fascicule, nous les exposons de manière aussi complète que possible à l'aide de l'exemple de 5 points qui a déjà été utilisé précédemment. S'il n'a pas de signification thématique particulière, il présente l'avantage d'être facile à reconstruire et à calculer avec un tableur comme Excel ; ceci permet de mieux appréhender les différentes méthodes applicables. Pour faciliter leur compréhension, nous associons les résultats numériques sauvegardés et les figures obtenues et exportées une à une en fonction des options sélectionnées. Avant d'exposer les résultats associés aux trois méthodes, nous précisons les caractéristiques de la lecture des données utilisées.

3.1. Lecture des données

Cette lecture s'effectue en deux temps :

- les localisations et les illustrations ;
- les données spécifiques : distances, ou/et angles ;

3.1.1. Lecture des localisations (points et illustrations)

Les données initiales comprennent un lieu origine et 4 lieux destinations ainsi que 4 polygones servant d'illustrations. Elles sont lues en premier comme suit :

- les coordonnées du lieu origine P_1 (fichier Coord_origine);

- les coordonnées des lieux destinations P_j , avec *j* variant de 1 à 4 (*fichier Coord_destinations*);

- les coordonnées des illustrations (ici 4 polygones, *fichier COORD_ILLUSTRATIONS*).



Figure 35. Lecture et affichage des données de localisation

Les différentes données lues, la carte s'affiche avec les lieux destinations en rouge, numérotés de 1 à 4, et le lieu origine en bleu, numéroté 1 puisque le fichier origine ne contenait qu'une origine (figure 35). La carte peut être sauvegardée avec l'option *Exporter* du menu *Fichier*.

3.1.2. Lecture des données étudiées (distances ou/et angles)

La lecture des données étudiées comprend des distances et des angles. Mais les deux types de données ne sont pas indispensables. Il faut donc savoir dès le départ quelle(s) méthode(s) va/vont être appliquée(s) :

- des distances pour les méthodes IsoDist et DistAngle ;

- des angles pour les méthodes *IsoAngle* et *DistAngle* ;

- les deux, donc pour *DistAngle*.

Les données de distances entre le lieu origine P_I et les lieux P_j se lisent avec l'option *Matrice*, puis *Distances* : ici, un vecteur colonne de longueur 4 (*fichier Vec Acces 4*). Le lieu origine est identifié directement puisqu'il n'y a qu'un lieu origine : point n° 1.

Les données de direction entre le lieu origine P_I et les lieux P_j se lisent avec l'option *Matrice*, puis *Angles* : ici, un vecteur colonne de longueur 4 (*fichier Vec Angle 4*). Le même lieu origine est identifié bien évidemment : point n° 1.

Le code du lieu origine et ses coordonnées seront affichés en premier dans le fichier des résultats.

Afin de bien suivre l'ensemble de la démarche, la figure 36 illustre l'ensemble des données lues (distances et angles compris) ; elles ne sont ni affichées, ni stockées, à ce stade.

					-			
	Orig	Dest	Orię	gine	Destination		Dist lues	Angles lus
Code	1	J	Xi	Yi	Xj	Yj	Dij	Aij
1	1	1	0,0	0,0	1,5	28,5	38,000	97,000
2	1	2	0,0	0,0	5,0	14,0	23,000	75,000
3	1	3	0,0	0,0	17,5	5,0	27,000	6,000
4	1	4	0,0	0,0	22,5	14,5	47,000	18,000
Ł		ł		ł		ł	¥	¥
Nume du po origi	éro bint ne d	Numén du poin destinati	o Coord t du on or	données point igine	Coord des p dest	données oints de tination	Distances lues (relevées)	Angles lus (estimés)

Figure 36. Données lues mais non affichées

Une fois lues, les données de localisations et de distances et/ou de directions, on effectue les traitements avec l'option *Lancer* du menu *Matrice*. Ces derniers dépendent de la méthode à appliquer.

3.2. Méthode IsoDist : paramètres et résultats

La méthode *IsoDist*, rappelons-le, ne prend en compte que les coordonnées des points et des distances qui traduisent un écart par rapport à un lieu pris pour origine et des lieux considérés comme des destinations. Ces distances peuvent exprimer des temps de déplacement, des coûts de transports, des estimations cognitives, etc. Son but est le suivant :

But : *Trouver les nouvelles coordonnées des lieux P_i liées aux distances entrées*.

3.2.1. Choix des paramètres

Sauf exception, les distances de référence $Dref_{lj}$, sont calculées comme des distances euclidiennes. Ce choix est indiqué dans le fichier des résultats.

 $Dref_{Ij} = [(X_j - X_l)^2 + (Y_j - Y_l)^2]^{1/2}$ avec X_l et Y_l , coordonnées du point origine P_l et X_i et Y_j , coordonnées d'un point destination P_j

La pondération induite par le système de référence et les distances étudiées se calcule en effectuant le rapport de la somme des distances de référence et la somme des distances étudiées correspondantes. Ici, il s'agit d'une pondération liée au vecteur puisque les données lues sont sous forme de vecteur.

Ce sont les seuls paramètres à choisir. Tous les calculs sont alors faits automatiquement et se retrouvent dans les tableaux de sortie.

3.2.2. Résultats numériques enregistrés

Dans le fichier de sortie, sont indiqués en premier les choix pour le point origine et pour les distances de référence (figure 37).

Trois blocs de données/résultats sont ensuite affichés.

Origine	Choix de l'u	utilisateur
Id :		1
Coord :	0.0	0.0
Distances	de referen	ce : distances euclidiennes. Distances calculées par le logiciel

Figure 37. Fichier résultats : informations sur les données lues

3.2.2.1. Données/résultats concernant les distances

Ces données/résultats comprennent pour chaque liaison avec le lieu origine (figure 38),

- les distances de référence calculées *DistRef* (*Dref_{lj}*);

- les distances entrées *Distance* (D_{Ij});

– les distances pondérées, *Dist.Norm*, par le coefficient de pondération **c** $[(\Sigma Dref_{Ij}/\Sigma D_{Ij}], DD_{Ij}, calculées comme suit pour chaque point P_j:$

$$DD_{Ii} = D_{Ii} x \left(\Sigma Dref_{Ii} / \Sigma D_{Ii} \right)$$

Le coefficient de pondération et son type sont indiqués en dessous du tableau ; soit, ici, une normalisation par rapport au vecteur et un coefficient c :

 $\mathbf{c} = (88,373 / 135,000) = 0,65.$

– un indice d'écart relatif, pour chaque distance, rapport de chaque distance transformée avec la distance de référence. Cet indice localisé permet de savoir si les distances sont allongées ou raccourcies par rapport à la distance de référence, en termes relatifs :

Indice d'écart =
$$DD_{Ii}/Dref_{Ii}$$

– la norme résiduelle entre la distance transformée et la distance de référence. Cette norme localisée indique, comme précédemment, si les distances sont allongées ou raccourcies par rapport à la distance de référence, mais en valeur absolue :

Norme résiduelle = DD_{Ii} - $Dref_{Ii}$

Le tableau comprend encore plusieurs colonnes inégalement remplies puisqu'elles concernent les angles. Or, seuls les angles de référence sont utiles dans cette méthode.

-l'angle de référence en radians, Aref_{li}, suivi 2 colonnes inutiles pour cette méthode ;

494V	Id	Dref _{lj} Dist Ref	D _{lj} Distance	DD _{lj} Dist.norm	DistNorm/ DistRef	DistNorm - DistRef	Angle Ref, Radians		Angle Ref, Degrés	
THE STREET	1	28 530	38,000	24 875	0.872	-3 664	1 518		86.99	
	2	14,866	23,000	15,056	1,013	0,190	1,228		70,35	
	3	18,200	27,000	17,675	0,971	-0,526	0,278		15,95	
	4	26,768	47,000	30,767	1,149	3,999	0,572		32,80	
Г	$\Sigma \operatorname{Dref}_{ij} = 88,67 \Sigma \operatorname{D}_{ij} = 135,00 \operatorname{DD}_{ij} = \operatorname{D}_{ij} \times \operatorname{c} \operatorname{DD}_{ij} / \operatorname{Dref}_{ij} \operatorname{DD}_{ij} - \operatorname{Dref}_{ij} \operatorname{Aref}_{ij} \operatorname{Aref}_{ij} \operatorname{Aref}_{ij} \operatorname{en \ degrees}$									
	Aref _{ij} en radians = Arctan (tgAref _{ij}) = Arctan $\frac{\sin (A + e_{ij})}{\cos Aref_{ij}}$ avec $\cos Aref_{ij} = (X_j - X_i)/$ Dref _{ij} et sinAref _{ij} = $(Y_j - Y_i)/$ Dref _{ij}									
	Normalisation : relatif au vecteur Type de normalisation Colonnes non remplies - Coefficient normalisation : 0,65461709 Calcul par l'ordinateur Colonnes non remplies									

- l'angle de référence converti en degrés, suivi également de 2 colonnes inutiles ici.

Figure 38. Résultats sur les distances

Ce tableau est suivi par les deux informations concernant la pondération : le type de pondération (appelée dans le programme Normalisation) et le coefficient de transformation c.

3.2.2.2. Données/résultats concernant les lieux

Le tableau décrivant les lieux comprend 6 colonnes, la première indiquant toujours le code des lieux (figure 39) :

- les colonnes 2 et 3 indiquent les coordonnées originelles des lieux destinations ;

les deux colonnes suivantes, 4 et 5, les nouvelles coordonnées des lieux calculées à l'aide des coordonnées polaires en prenant en compte les nouvelles distances et les angles de référence ;

- la valeur absolue des normes résiduelles.

Id	Orig X I	Orig Y	ransformé Tr XD: I	ansformé YD:	vecteur
iu.	ong XT				10010001
1	1,50	28,50	1,31	24,84	3,664
2	5,00	14,00	5,06	14,18	0,190
3	17,50	5,00	16,99	4,86	0,526
4	22,50	14,50	25,86	16,67	3,999
					1
	•		•	·	†
	Coordon	nees	Coordonnees		Norme d
	du poi	nu o	ues points de de	estination	vecteur

Figure 39. Résultats numériques sur les lieux

3.2.2.3. Mesures globales de qualité des transformations

Deux mesures permettent d'évaluer la qualité de la transformation, c'est-à-dire si les distances étudiées sont proches ou non des distances de référence, un coefficient R et un indice RMSE (figure 40).

 $-le \ coefficient R$ est similaire à un coefficient de corrélation. Il calcule le degré de ressemblance entre les positions originelles et les nouvelles positions des points par rapport à un point pris pour origine. Il varie entre 0 et 1, 1 correspondant à l'identité des positions.

- l'indice RMSE est un indice de déplacement moyen des lieux par rapport aux positions originelles.

Deux mesures simples sont également données pour la distance résiduelle, égale dans le cas d'IsoDist à la norme du vecteur résiduel:

- la moyenne de la distance résiduelle LD_i : moyenne (*MLD*);

- et *l'écart-type* de cette distance LD_j : écart-type (*sLD*).



Figure 40. Indices de la qualité de la transformation

3.2.3. Résultats cartographiques (figure 41)

Il est possible d'obtenir des représentations distinctes mettant en valeur, soit les vecteurs de déplacement (figure 41B), soit les points rapprochés, soit les points éloignés (figure 41C, D).



Figure 41. Cartes associées à IsoDist

Avec des données géographiques en entrée, ces changements de position peuvent être interprétés.

3.3. Méthode IsoAngle : paramètres et résultats

La méthode *IsoAngle* prend en compte des angles qui indiquent les directions, en général estimées, entre un lieu pris pour origine et des lieux considérés comme des destinations. Les données lues sont donc (cf. figure 36) :

- les coordonnées des points origine ;

- les coordonnées des points de destination ;

- et les directions entre le lieu origine et les lieux destinations, exprimées sous forme d'angles, ici, en degrés, mesurés dans le sens trigonométrique à partir de l'axe des X.

Son but est le suivant :

But : *Trouver les nouvelles coordonnées des points P_J liées aux angles estimés.*

3.3.1. Choix des paramètres

Contrairement à la méthode *IsoDist*, il n'y a pas de paramètres à choisir. Une fois les données lues, il suffit de cocher la case indiquant l'application d'*IsoAngle* et de vérifier le code du lieu pris pour origine. Ici le lieu 1.

3.3.2. Résultats numériques enregistrés

Dans le fichier de sortie, sont indiqués en premier les choix pour le point origine et pour les distances de référence, distances qui sont alors considérées comme les distances à retenir pour les calculs (figure 42).

Trois blocs de données/résultats sont ensuite affichés comme pour *IsoDist*.

Origine	Choix de l'u	utlisateur
Id :		1
Coord :	0.0	0.0
Distance	s de referen	ce : distances euclidiennes. Distances calculées par le logiciel

Figure 42. Choix de l'origine et des distances de référence

3.3.2.1. Données/résultats concernant les angles

Ces données/résultats comprennent pour chaque liaison avec le point origine (figure 43) :

- les distances de référence calculées DistRef;

- les calculs pour les distances n'apparaissent plus même si les colonnes sont encore présentes ;
- les angles de référence calculés en radians ;
- les angles entrés en radians ;

- un indice d'écart absolu en radians entre les angles estimés et les angles de référence. Cet indice localisé permet de savoir quelles sont les directions données par rapport aux directions de référence.

- 3 colonnes avec les mêmes angles et le même indice, exprimés alors en degrés.

Id	Dist Ref		Angle Ref. radians	Angle est radians	Angle- Angleref Radians	Angleref en degré	Angle est. Degrés	Angle- Angleref Degres
1 2 3 4	28,539 14,866 18,200 26,768		1,518 1,228 0,278 0,572	1,6930 1,3090 0,1047 0,3142	0,175 0,081 -0,174 -0,258	86,987 70,346 15,945 32,800	97 75 6 18	10,013 4,654 -9,945 -14,800
eu	Dref _{ij} calculée = distances clidiennes	(c	Aref _{ij} en radians = calculé comme pour IsoDist)	A _{ij} en radians = donné	Indice d'écart en radians = calculé	Aref _{ij} en degrés = calculé	A _{ij} en degrés = donné	Indice d'écart en degrés = calculé

Figure 43. Tableau des angles estimés et calculés

3.3.2.2. Données/résultats concernant les lieux

Le tableau décrivant les lieux comprend 6 colonnes, la première indiquant toujours le code des lieux (figure 44) :

- les deux colonnes suivantes, 2 et 3, indiquent les coordonnées originelles des lieux ;

 les colonnes 4 et 5, donnent les nouvelles coordonnées des lieux calculées à l'aide des coordonnées polaires en prenant en compte les nouvelles directions;

- la colonne 6 contient les normes des vecteurs résiduels.

ld	Orig X _i	Orig Y _i	Transformé XA _j	Transformé YA _j	Vecteur résiduel
1	1,50	28,50	-3,48	28,32	4,981
2	5,00	14,00	3,84	14,35	1,207
3	17,50	5,00	18,10	1,90	3,155
4	22,50	14,50	25,45	8,27	6,894
	Coordonnées du point origine		Coordo des points de après trans	Norme du vecteur résiduel LA	

Figure 44. Tableau des nouvelles coordonnées après transformation

3.3.2.3. Mesures globales de qualité des transformations (figure 45)

Deux mesures permettent d'évaluer la qualité de la transformation, c'est-à-dire si les directions estimées sont proches ou non des directions de référence, un coefficient R et un indice RMSE.

Deux mesures concernent l'écart angulaire⁵ entre la direction originelle et la direction estimée (dénommé ici Angle résiduel) :

- la moyenne des angles résiduels en radians et en degrés

- et la variance de ces angles en radians.

Indices d'evalua	Indices globaux					
R :	0,856					
RMSE :	4,576					
Indices statistiques liés aux points, calculés sur						
Angle residuel		les angles résiduels				
Moyenne :	-0,04399	-2,52055				
Variance :	0,01573					

Figure 45. Indices liés à la transformation

3.3.3. Résultats cartographiques

Les représentations sont identiques à celles obtenues pour *IsoDist*. Nous donnons en exemple, la carte des vecteurs de déplacement (figure 46A) et la carte des lieux rapprochés ou éloignés (figure 46B).



Figure 46. Sorties cartographiques associées à IsoAngle

3.4. Méthode DistAngle : paramètres et résultats

La méthode *DistAngle* prend en compte **et** les distances fournies **et** les directions, en général estimées, entre un lieu pris pour origine et des lieux considérés comme des destinations. Les données lues sont donc :

- les coordonnées des points origine ;
- les coordonnées des points de destination ;
- les distances données ;

- et les directions entre le lieu origine et les lieux destinations, exprimées sous forme d'angles ici en degrés, mesurés dans le sens trigonométrique à partir de l'axe des X.

Son but est le suivant :

⁵ Pour ces mesures, nous avons utilisé les indices proposés par K.V. Mardia [1972].

But : *Trouver les nouvelles coordonnées des points* P_J *liées aux distances fournies et aux angles estimés.*

3.4.1. Choix des paramètres

Il convient de sélectionner les paramètres **et** d'*IsoDist* **et** d'*IsoAngle*. Une fois les données lues, il suffit de cocher les cases indiquant l'utilisation simultanée d'*IsoDist* et d'*IsoAngle* avec les options adéquates et de rappeler le point pris pour origine. Ici le point 1.

3.4.2. Résultats statistiques enregistrés

Dans le fichier de sortie, sont indiqués en premier, comme toujours, les choix pour le lieu origine et pour les distances de référence (cf. figures 37 et 42).

Trois blocs de données/résultats sont ensuite affichés comme pour IsoDist et IsoAngle.

3.4.2.1. Données/résultats concernant les distances et les angles

Ces données/résultats comprennent pour chaque liaison avec le lieu origine (figure 47),

- les distances de référence calculées *DistRef* : *Dref_{ij}* ;

- les distances entrées *Distance* : D_{ij} ;

– les distances pondérées, *Dist.Norm*, par le coefficient de pondération $c [(\Sigma Dref_{Ij}/\Sigma D_{Ij})]$, DDA_{Ij} , calculées comme pour *IsoDist*, donc $DDA_{Ij} = DD_{Ij}$;

Le coefficient de pondération et son type sont indiqués en dessous du tableau, soit une normalisation par rapport au vecteur et un coefficient c = 0,65.

- un indice d'écart relatif, rapport de chaque distance transformée avec la distance de référence ;

 la norme résiduelle entre la distance transformée et la distance de référence. Cette norme localisée permet de savoir, comme précédemment si les distances sont allongées ou réduites par rapport à la distance de référence mais en valeur absolue ;

- les angles de référence calculés en radians ;

- les angles entrés en radians ;

ld 1 2 3 4	Dref _{ij} Dist, Ref, 28,539 14,866 18,200 26,768 Dref _{ij} calculée edistances euclidiennes	D _{Ij} Distance 38,000 23,000 27,000 47,000 ↓ Uij données = ∑ D _{Ij} = 135,00	DD Ij Dist, norm 24,875 15,056 17,675 30,767 0D Ij calculées = D Ij x c	D is tN orm / D is tR ef 0,872 1,013 0,971 1,149 ↓ Rapport distances = DD _{1j} / Dref _{1j}	D is tN o rm - D is tR ef -3,664 0,190 -0,526 3,999 Ecart distances = DD _{IJ} - Dref _{IJ}	Angle Ref. radians 1,518 1,228 0,278 0,572 Aref _{ij} en radians = calculé	Angle est radians 1,6930 1,3090 0,1047 0,3142 en radians = donné	Angle- Angleref Radians 0,175 0,081 -0,174 -0,258 Indice d'écart en radians	Angleref en degré 86,987 70,346 15,945 32,800 Aref ij en degrés = calculé	Angle est. Degré 97 75 6 18 en degrée = donne	Angle- Angleref Degre 10,013 4,654 -9,945 -14,800 , Indice s d'écart é en degrés
Σ	Dref _{lj} = 88,67	= 135,00						calculé			calculé
N c C c	orm alis ation oefficient nor	: relatif au v rmalisation : c = Σ Dref _{lj}	ecteur 0,65461709 / ΣD _{lj} = 0,65	Type de p Calcul par l	ondération 'ordinateur	avec	Aref _{ij} en r cosAref _{ij} =	adians = A (X _j -X _i)/ D	vrctan (tgAr ref _{ij} et sin/	ref _{ij}) = Arcta Aref _{ij} = (Y _j	an <mark>sinAref_{ij} cosAref_{ij} -Y_i)/ Dref _{ij}</mark>

Figure 47. Tableau des distances et des angles

- un indice d'écart absolu en radians entre les angles estimés et les angles de référence. Cet indice localisé permet de savoir, comme pour les distances, quelles sont les directions données par rapport aux directions de référence.

- 3 colonnes avec les mêmes angles et le même indice, exprimés alors en degrés.

3.4.2.2. Données/résultats concernant les lieux

Le tableau décrivant les lieux comprend toujours 6 colonnes, la première indiquant toujours le code des lieux (figure 48) :

- les colonnes 2 et 3 indiquent les coordonnées originelles des lieux ;

 les colonnées suivantes 4 et 5 donnent les nouvelles coordonnées des lieux calculées à l'aide des cordonnées polaires en prenant en compte les nouvelles directions;

- la dernière colonne 6, les normes des vecteurs résiduels.

Id	Orig X _i Orig Y _i		Transformé XDA _i	Transformé YDA _i	Vecteur résiduel
1	1,50	28,50	-3,03	24,69	5,920
2	5,00	14,00	3,89	14,54	1,230
3	17,50	5,00	17,57	1,84	3,153
4	22,50	14,50	29,26	9,51	8,405
	Coordor du po origin	nnées vint ne	Coordo des points de après trans	Norme du vecteur résiduel <i>LDA</i>	

Figure 48. Tableau des nouvelles coordonnées

3.4.2.3. Mesures globales de qualité des transformations (figure 49)

Deux mesures permettent toujours d'évaluer la qualité de la transformation, c'est-à-dire si les directions estimées sont proches ou non des directions de référence, un coefficient R et un indice RMSE.

Les deux mesures simples sont à nouveau fournies pour la distance résiduelle, qui est la même que celle calculée pour IsoDist :

– la moyenne de la distance résiduelle LD_j : moyenne (MLD);

- et l'écart-type de cette distance LD_j : écart-type (*sLD*);

Enfin deux mesures concernent l'écart angulaire entre la direction originelle et la direction estimée (dénommé ici Angle résiduel) :

la moyenne des angles résiduels en radians et en degrés ;

- et la variance de ces angles en radians.

Indices d'evalua	Indices globaux					
R :	0,7996					
RMSE :	5,412					
Indices statistiques liés aux points, calculés sur						
Distance residuelle LDj les distances résiduelles						
Moyenne :	2,095					
Ecart-type :	1,745					
Angle residuel		les angles résiduels				
Moyenne :	-0,04399	-2,52055				
Variance :	0,01573					

Figure 49. Indices de la qualité de la transformation

3.4.3. Résultats cartographiques

Les représentations sont identiques à celles obtenues pour *IsoDist* et *IsoAngle*. Nous donnons en exemple, la carte des vecteurs de déplacement (figure 49 A) et la carte des lieux rapprochés ou éloignés (figure 50 B).



Figure 50. Cartes associées à DistAngle

Conclusion

IsoDistAngle est un logiciel qui permet d'appliquer trois méthodes distinctes de transformation cartographique de position à partir d'un lieu.

La première *IsoDist* est connue sous différents noms car divers chercheurs l'ont utilisée ou programmée de manière très proche en fonction de leurs propres travaux. Elle peut être appliquée à de nombreux problèmes géographiques puisque la notion de distance est très variée. Dans le cadre du laboratoire Image, Ville, Environnement où cette version a été développée à partir de 1992, les applications ont surtout porté sur des distances temps en transports (routiers, ferroviaires, aériens, etc.) ou sur des distances cognitives (estimations de distances entre lieux dans une ville par des personnes). Plusieurs contrats effectués soit pour la DATAR, soit pour la SNCF ou encore des DDE et des Chambres de Commerce ont permis de mettre en évidence son intérêt.

Les méthodes *IsoAngle* et *DistAngle* ont été conçues et développées en 1999-2000 par C. Cauvin lors d'un contrat de recherche en association avec le Centre de Recherche en Neurosciences Cognitives (UPR CNRS 9012, Marseille) pour une recherche en cognition spatiale sur les repères en milieu urbain¹. Elle a été appliquée à certains quartiers de Strasbourg par L. Flesch sans le cadre de son mémoire de Master 2, avec la collaboration de A.C. Bronner, ingénieur de recherche au CNRS. Les résultats se sont avérés suffisamment pertinents pour que l'on fasse évoluer ces méthodes et aboutisse à la version actuelle du logiciel. Cependant, à ce stade, nous n'en voyons des utilisations que dans le domaine de la cognition spatiale.

Ces trois méthodes produisent dans tous les cas deux paires de coordonnées pour chaque lieu destination, mettant en évidence les déplacements dus au phénomène étudié (transport, cognition, etc.). Comme nous l'avons indiqué en introduction, ces paires de coordonnées homologues sont alors comparables à l'aide de la régression bidimensionnelle développée par W. Tobler [1977; 1994] ; les résultats obtenus avec ces méthodes sont ensuite généralisés à l'ensemble de la surface concernée, dégageant ainsi l'impact spatial de la variable traitée.

Avec le logiciel *IsoDistAngle*, écrit par G. Vuidel, ces trois méthodes sont maintenant applicables de manière simple par tout chercheur intéressé par ce type de transformation cartographique ; elles peuvent être prolongées par d'autres traitements et s'enrichiront en fonction des travaux de chacun.

¹ Recherche effectuée entre 1999 et 2002, dans le cadre du programme Cognitique, thème "cognition spatiale", Marseille, Strasbourg.

Références bibliographiques

BRONNER A.C., CAUVIN C., FLESCH L., PERUCH P. et al., 2002, *Modes de déplacements et représentations cognitives en milieu urbain : enquêtes et expérimentations*. Poster présenté au Colloque Cognitique, 6-7 décembre 2002, Paris. Recherche et nouvelles technologies.

CAUVIN C., ESCOBAR F., SERRADJ A., 2010, *Cartography and the Impact of the Quantitative Revolution*, Volume 2, ISTE Ltd, Wiley & sons, Inc., Great Britain, 408 p.

CAUVIN C., ESCOBAR F., SERRADJ A., 2008, Cartographie thématique 4. Des transformations renouvelées, Volume 4, Hermès Science, Lavoisier, Traité IGAT, Paris, 198 p.

CAUVIN C., 2005, « A systemic approach to transport accessibility. A methodology developed in Strasbourg : 1982-2002 », *Cybergeo*, n° 311, 26 p., <u>http://193.55.107.45/articles/311res.htm</u>.

CAUVIN C., ENAUX C., 2004, avec la collaboration de BRONNER A.C., « Des temps d'accès à leur représentation cartographique. Propositions méthodologiques », dans Vodoz L., Pfister-Giauque B., Jemelin C. (dir.), *Les territoires de la mobilité. L'aire du temps*, ch. X, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne (CH), p. 341-362.

CAUVIN C., 1995, « Transformações cartograficas espaciais e anamorfes ». Chapitre 7, in *Os mapas em Portugal. Da tradioção aos novos rumos da Cartografia*. Edições Cosmos, Lisboa, 269 p.

CAUVIN C., 1994, « Accessibilité de système et accessibilité locale ». Revue Flux, N° 16, p. 39-48.

FLESCH L., 2002, Représentation cognitive urbaine. Repères et déplacements : étude des localisations. Une expérimentation à Strasbourg-Cronenbourg, Mémoire de DEA, Université Louis Pasteur, Faculté de Géographie, Strasbourg, 66 p. + annexes.

MARDIA K.V., 2008, *Statistics of directional data*, Academic Press Ltd, Probability and mathematical statistics. A serie of monographs and textbooks. Editors : Birnbaum Z. W., Lukacs E., London, 357 p.

PERUCH P., CAUVIN C. (resp. scientifiques), Avec la participation • pour Marseille de THINUS-BLANC C., GADRAT S., CHABANNE V., NESA M.P. ; • pour Strasbourg de FLESCH L., BRONNER A.C., et la collaboration de SCHLUMBERGER R., 2002, *Modes de déplacements et représentations cognitives en milieu urbain : enquêtes et expérimentations*. Rapport de fin de recherche. Programme effectué dans le cadre du programme Cognitique, thème "cognition spatiale", Marseille, Strasbourg, 72 p.

TOBLER W.R., 1977, «Bidimensional regression: a complete program », Santa Barbara, CA, 71 p. ronéotées.

TOBLER W.R., 1994, «Bidimensional regression: a complete program », *Geographical Analysis*, vol. 26, n° 3, p. 187-212.

TOBLER W.R., 1996, « A graphical introduction to survey adjustment », *Cartographica*, vol. 16, n° 41, p. 33-42.