

DISTANCE ET ACCESSIBILITE

ÉCOLE D'ÉTÉ INTERNATIONALE

MÉTHODES ET OUTILS DES SCIENCES DES TERRITOIRES

UNE PERSPECTIVE NORD-SUD, SUD-NORD ET SUD-SUD

ÉTAPE 2 • IRSP, Ouidah (Bénin) 27 février - 10 mars 2023



Vakaramoko BAMB
Claude GRASLAND

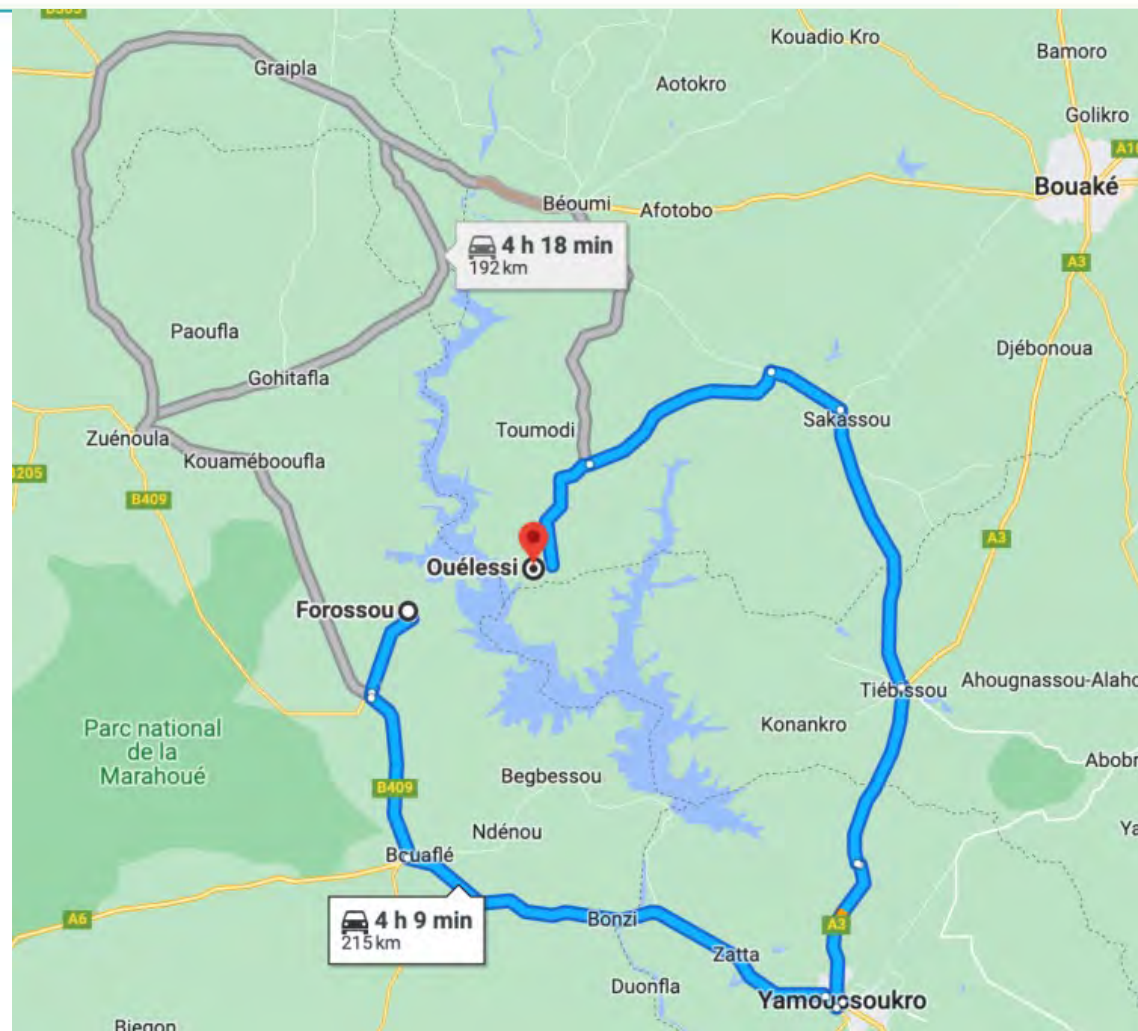
Contributeur.ice.s :

INTRODUCTION

Définition de la distance

La distance est l'intervalle entre deux points. La distance est une relation entre les lieux dans l'espace géométrique donné. Définir une distance est un acte profondément géographique, qui revient à définir la nature de la relation entre les lieux, l'espace de référence et donc le nombre de ses dimensions (Brunet et al, 1994).

La distance change selon le mode de transport utilisé. Si par exemple on veut se rendre du village de *Forossou* au village de *Fouélessi* en voiture par la route, il faudra compter de 192 à 215 km et un temps supérieur à 4h. Mais si on se déplace en hélicoptère, il ne faudra que quelques minutes puisque la distance à vol d'oiseau est de moins de 20 km. On pourrait aussi imaginer de se déplacer à pieds puis en vélo, etc.



La distance ne se mesure donc pas dans l'absolu mais en fonction d'un moyen de transport et d'objectifs qui vont impliquer des contraintes différentes.

Définition de l'accessibilité

C'est la capacité à être atteint par une clientèle, un message, un service. Elle dépend de l'état des moyens de transport et représente un coût. C'est l'ensemble de possibilités effectives pour relier deux lieux par un déplacement ou pour accéder à un service. L'accessibilité est une composante de la mobilité. Elle représente l'offre de mobilité.

Comment mesurer le coût généralisé ?

L'accessibilité n'est pas seulement une question de **kilomètres** ou de **temps**. C'est aussi une question de coût et notamment de **coût financier**. L'ensemble des trois facteurs constitue le **coût généralisé** du transport.

Le **racket** sur les routes modifie ainsi le coût de transport de trois manières :

1. *Accroissement du prix* (prélèvement de taxes officielles ou non)
2. *Accroissement du temps* (attente plus ou moins longue)
3. *Accroissement de la distance* (detour pour éviter les barrages)

Le racket ferait désormais perdre 400 milliards FCFA par an à la Côte-d'Ivoire

11/06/2017 par La Rédaction



Le racket fait perdre à la Côte d'Ivoire plus de 400 milliards de francs CFA par an, a confié l'inspecteur général des services de la police, le général Joseph Dja Blé, mercredi 07 juillet 2017, lors de l'installation du comité communal de lutte contre le racket à Yamoussoukro.

Première loi de la géographie

« *Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things.* »

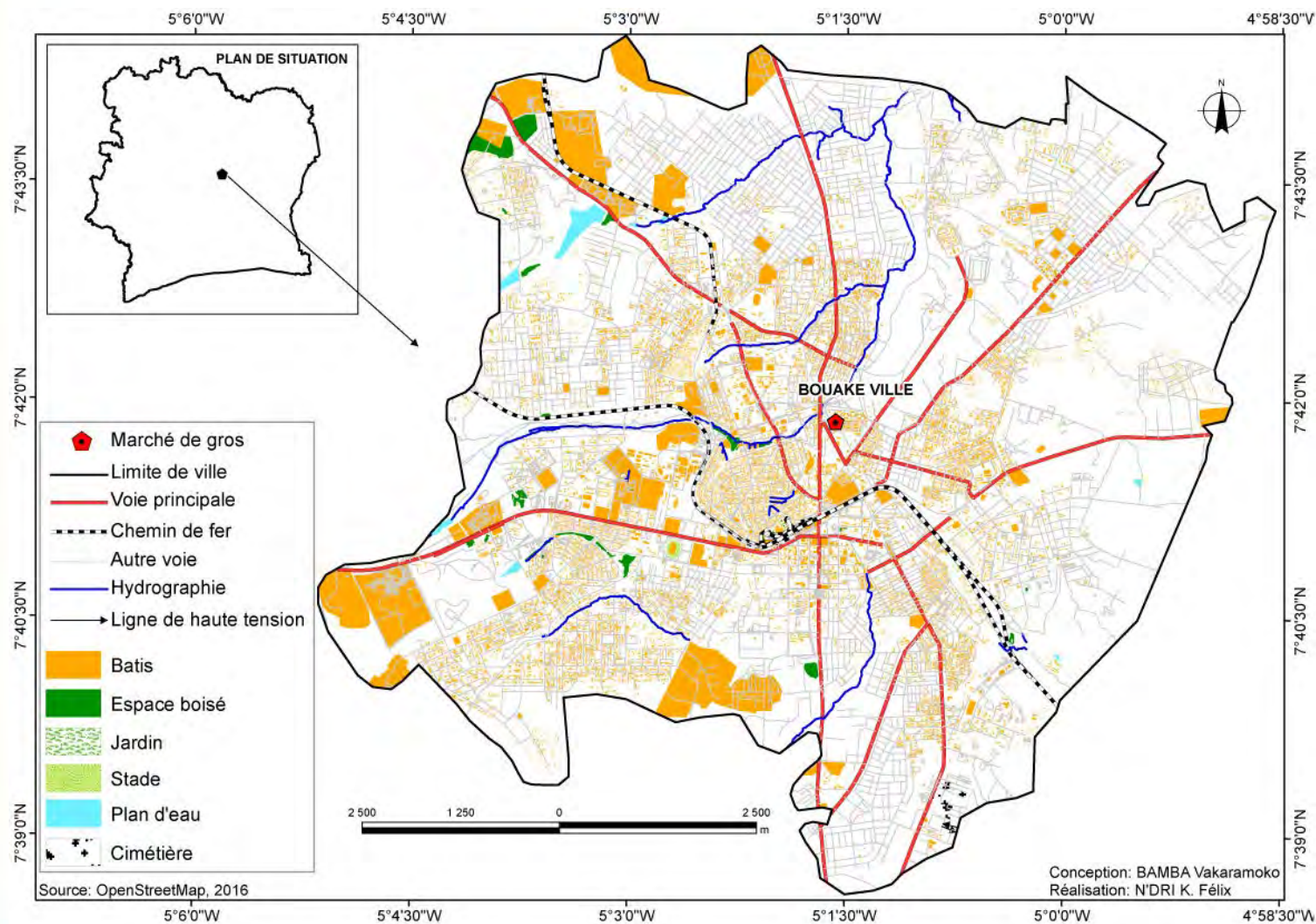
« *Tout est relié à tout mais les choses proches ont plus de relations que les choses éloignées* »

TOBLER, W. R. (1970). "A computer model simulation of urban growth in the Detroit region". *Economic Geography*, 46(2): 234-240.



APPROCHE EMPIRIQUE DE LA DISTANCE

Le marché de Bouaké



Situé au cœur de la Côte d'Ivoire, dans la région de Bouaké, à 379 km au Nord d'Abidjan, sur la voie internationale A3 menant au Mali et Burkina Faso. Le marché de Gros de Bouaké est une plateforme de commercialisation des produits vivriers, unique en son genre dans la sous région ouest-africaine. Il est perçu comme un puissant instrument d'intégration économique en raison de sa situation géographique. Ce marché a une capacité d'accueil de 431 magasins dont 370 sont entièrement dédiés au vivrier. Il a été inauguré le 16 Avril 1998. C'est un marché bâti sur une superficie de 27 hectares

Application de la théorie de Von Thünen

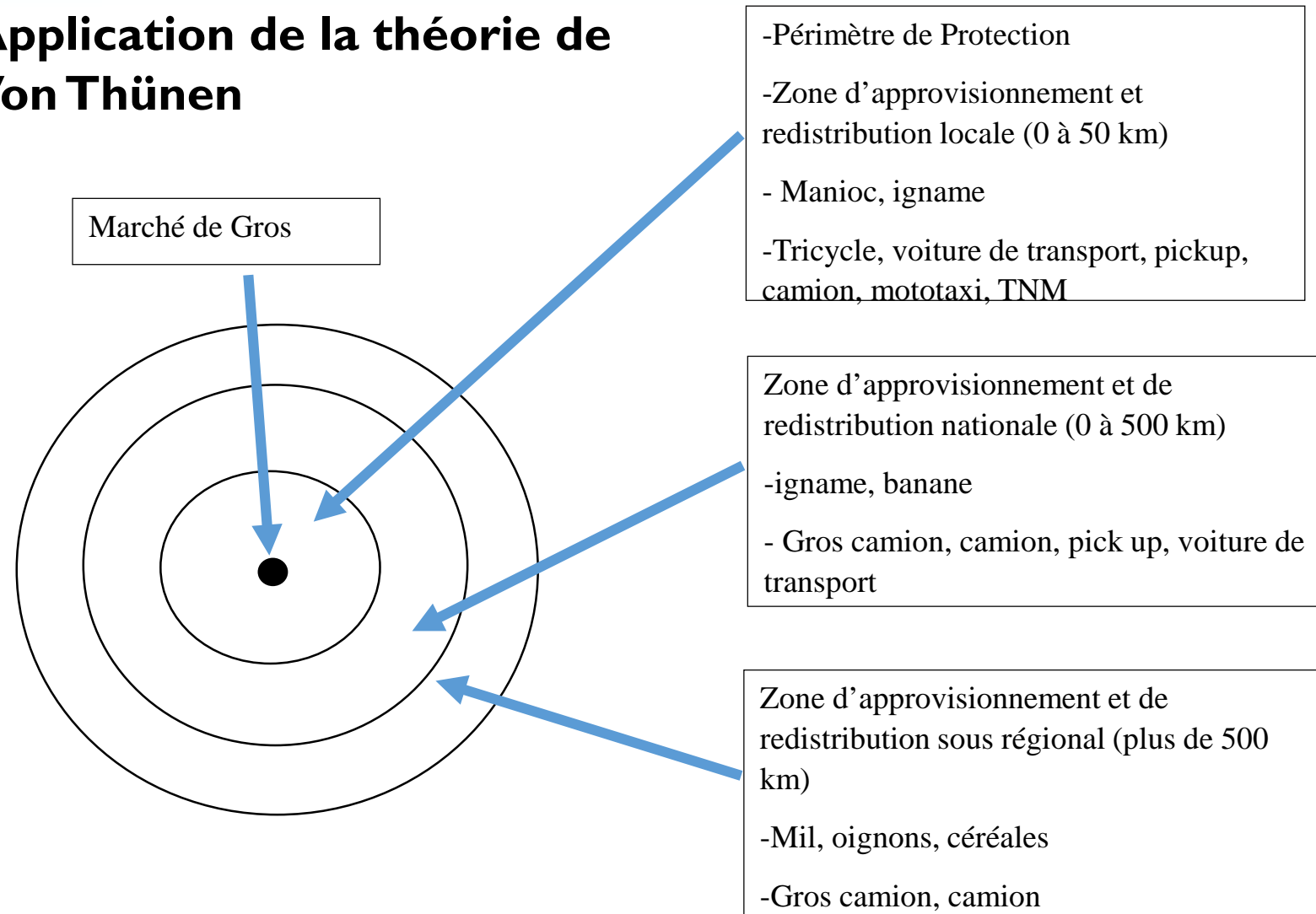
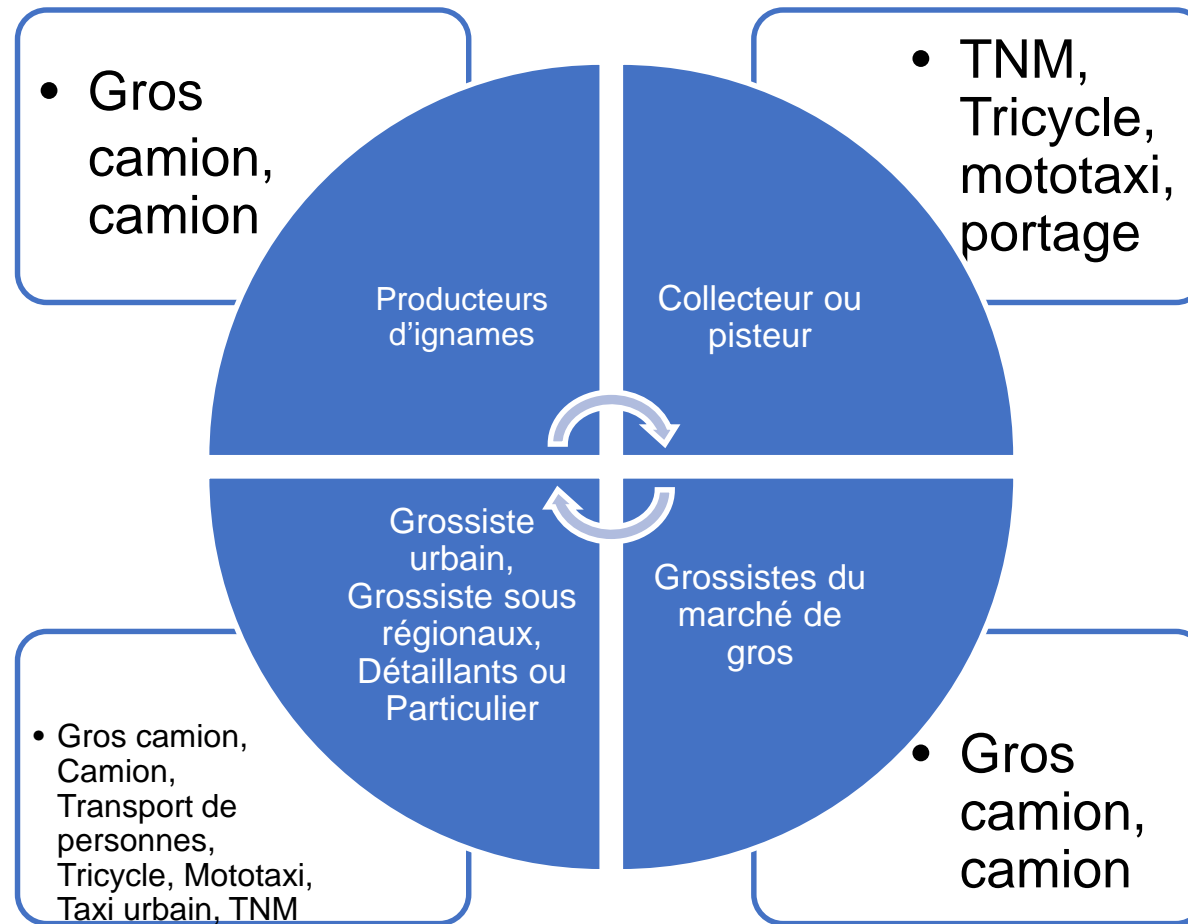


Figure 4: Modèle de Von Thünen adapté à notre étude

Les chaînes de transport des principaux produits vivriers au marché de gros de Bouaké: L'igname



Source : Bamba V, 2019

Les chaînes de transport des principaux produits vivriers au marché de gros de Bouaké: L'oignon

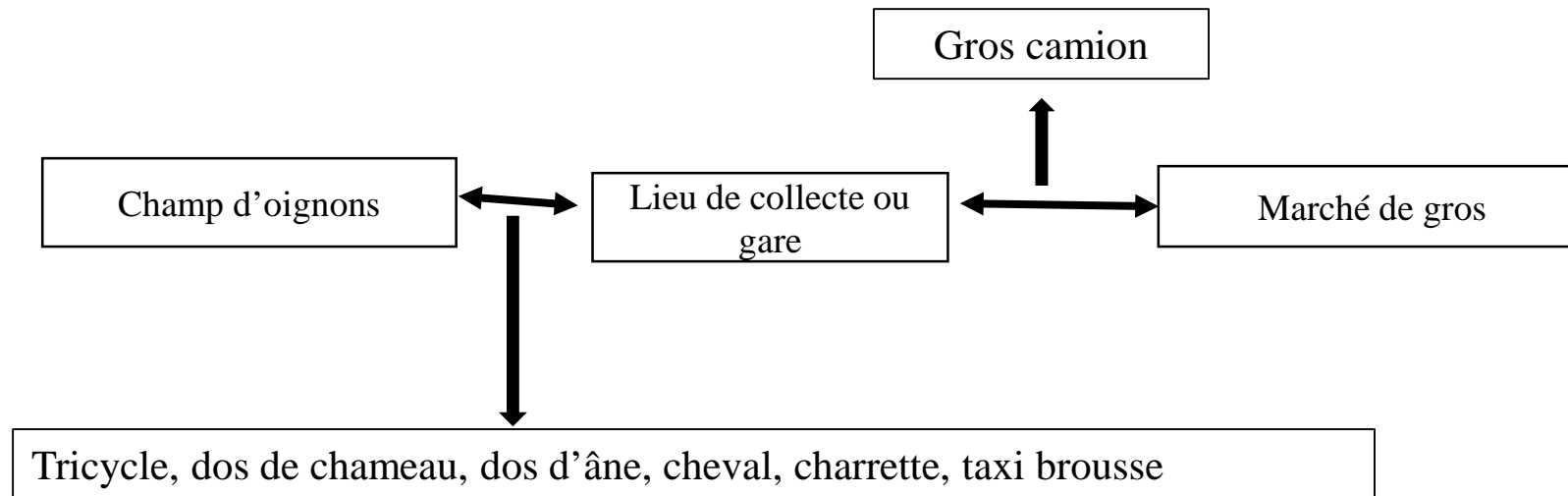


Figure : La chaîne de transport de l'oignon (Nos enquêtes, 2016)

Les chaînes de transport des principaux produits vivriers au marché de gros de Bouaké: Le riz paddy

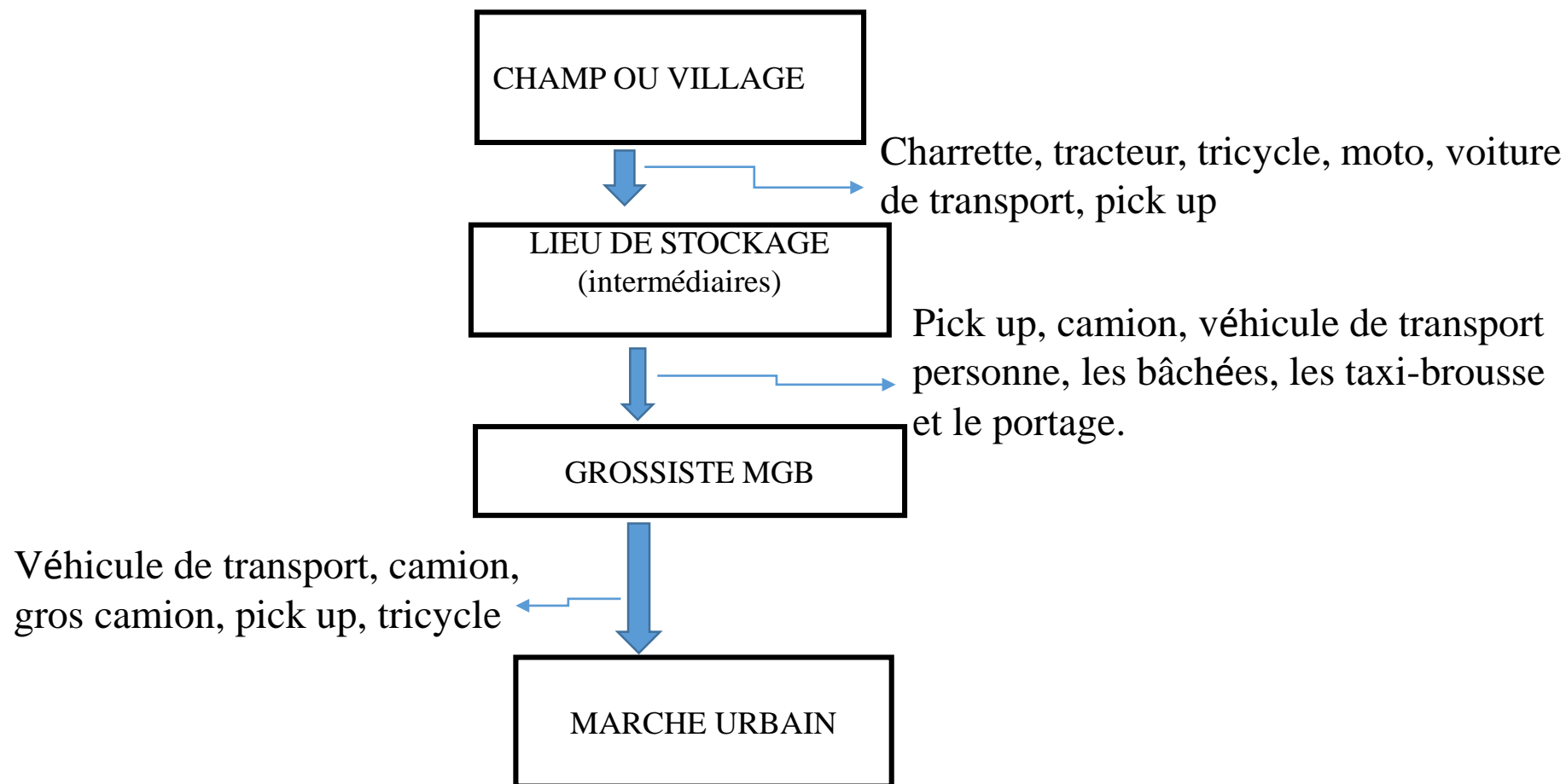


Figure : La chaîne de transport du riz paddy (Nos enquêtes, 2016).

Les moyens de transport approvisionnant les produits vivriers au marché de gros



Photo 1 : Déchargement d'oignons par une remorque plateau burkinabé (Crédit photographique Bamba V, 2016.)



Photo 2 : Chargement d'ignames par un gros camion malien (Crédit photographique Bamba V, 2016.)

Les types de véhicules approvisionnant les produits vivriers au marché de gros



Photo 3 : Véhicules pick up. (Crédit photographique Bamba V, 2016)



Photo 4 : Stationnement des camions au marché de gros de bouaké. (Crédit photographique Bamba V, 2016)



Photo 5 : Véhicule de transport dont les sièges et le porte bagage sont chargés d'igname. (Crédit photographique Bamba V, 2016)



Photo 6 : Véhicule de transport communal (taxi) dont le porte bagage est chargé de sacs de maïs. (Crédit photographique Bamba V, 2016)

Les types de véhicules approvisionnant les produits vivriers au marché de gros



Photo 7 : Un tricycle chargé d'ignames.
(Crédit photographique Bamba V, 2016.)

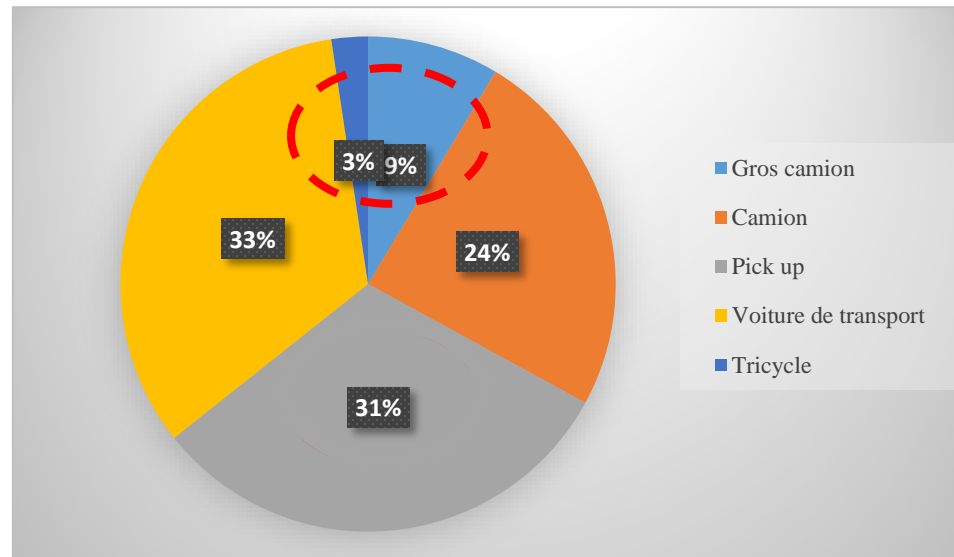


Photo 8 : Chargement de sacs d'oignon sur un moto-taxi (Crédit photographique Bamba V, 2016)



Photo 9 et 10 : Un pousse-pousse et une brouette chargés de tubercules d'ignames

Une pluralité de moyens de transport ravitaillant le marché de gros de Bouaké



- **Figure 3: Proportion des types véhicules alimentant le marché de gros de Bouaké**

Les contraintes liées aux institutions

Tableau : Nombre de barrages sur les principaux axes alimentant le marché de gros de Bouaké

Localités	Distance	Nombre de barrages	Densité des barrages aux 100km
Bouaké-Béoumi	53	8	15
Bouaké-Sakassou	33	7	21
Bouaké-M'bahiakro	80	8	10
Bouaké-Brobo	20	4	20
Bouaké-Diabo	20	3	15
Bouaké-Dabakala	135	13	9
Bouaké-Katiola	45	7	15
Bouaké-Botro	32	7	21
Bouaké-Maradiassa	65	11	16
Bouaké-Tiéningboué	101	14	13
Bouaké-Mankono	172	16	9

Source : Bamba V., 2015 et 2016.

Les contraintes liées aux institutions

Tableau : Prix de revient d'un sac d'oignon importé du Niger

Prix bord champ d'un sac de 120 kg	10 000 F CFA
Frais de route d'un sac de 120 kg	4 000 F CFA
Transport d'un sac de 120 kg	7 000 F CFA
Total	21 000 F CFA

Source : Bamba V., 2015 et 2016.

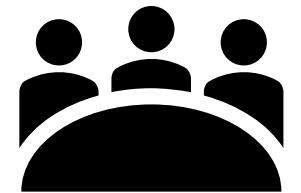
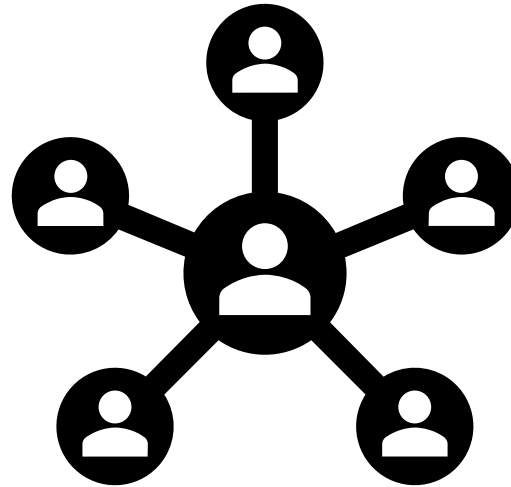
Récapitulatif des résultats

- La base de données est issue des tickets de pesée du marché de gros de Bouaké. Elle a permis de recueillir des informations à la fois qualitatives et quantitatives à travers le dépouillement de 1918 tickets de pesée sur la période du 20 juin 2013 au 31 mai 2015.
- L'approvisionnement et la redistribution des produits vivriers sont le fait de nombreux acteurs qui travaillent sur plusieurs échelles spatiales (Théorie de Von Thünen): locales, nationales et internationales .
- Plusieurs moyens de transport ravitaillent le marché de gros en fonction des échelles spatiales.
- Les contraintes physiques liées au ravitaillement du marché de gros. Entre autres, Le phénomène de racket s'illustre de diverses manières et varie en fonction de l'auteur, de la victime, du produit vivrier et de l'axe routier.

**APPLICATION n°1 : ETUDE DES PRODUITS VENDUS AU MARCHÉ DE BOUAKE EN
FONCTION DE LA DISTANCE ET DU MODE DE TRANSPORT**



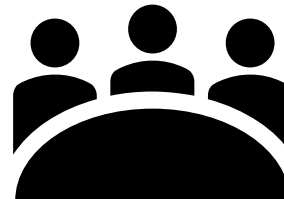
Riz



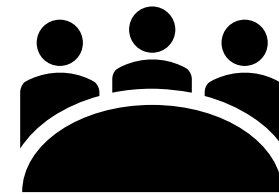
Oignons



Arachide



Igname

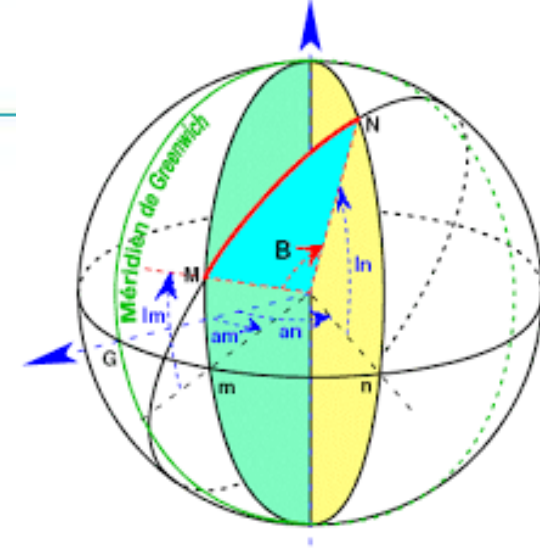


Maïs

APPROCHE THEORIQUE DE LA DISTANCE

Comme on a pu le voir dans la partie précédente, les distances réelles sont des mesures complexes qui font intervenir un grand nombre de facteurs et nécessitent une très bonne connaissance du terrain d'étude.

On peut toutefois utiliser dans certains cas des **approximations** des distances réelles en utilisant des formules mathématiques ou des applications interactives de calcul disponibles sur des serveurs webs. Les résultats sont évidemment moins précis et moins détaillés mais ils permettent de fournir des résultats sur l'ensemble des lieux présents sur un territoire.

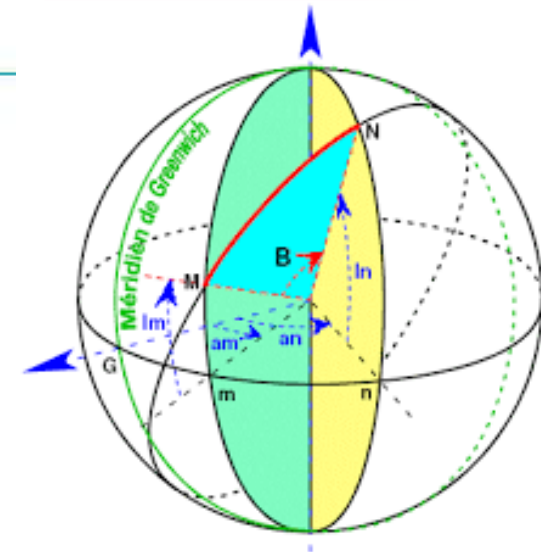


La distance orthodromique

La distance orthodromique aussi appelée « distance du grand cercle » correspond au déplacement entre deux points de la surface de la Terre qui est comme chacun le sait une sphère aplatie. Sa formule est donc assez complexe et elle dépend du choix d'un ellipsoïde de référence. Une version simplifiée peut en être donnée comme suit :

Soit deux points i et j de la surface du globe ayant pour latitudes respectives (δ_i, δ_j) et pour longitudes respectives (λ_i, λ_j) , la distance orthodromique entre ces deux points peut-être approximativement estimée par la **formule de Haversine** qui mesure la distance à la surface d'un cercle parfait de rayon R :

$$D_{ij} \approx R \cdot \arccos(\sin(\delta_i) \cdot \sin(\delta_j) + \cos(\delta_i) \cdot \cos(\delta_j) \cdot \cos(\lambda_i - \lambda_j))$$



La distance orthodromique

$$D_{ij} \approx R \cdot \arccos(\sin(\delta_i) \cdot \sin(\delta_j) + \cos(\delta_i) \cdot \cos(\delta_j) \cdot \cos(\lambda_i - \lambda_j))$$

Si on prend l'exemple de *Paris* (2.34°W, 48.85° N,) et *Cotonou* (2.41°W, 6.36°N) et que l'on fixe le rayon moyen de la terre à 6371 km le calcul nous donne :

$$D_{ij} \approx 6371 \cdot \arccos(\sin(48.85) \cdot \sin(6.36) + \cos(48.85) \cdot \cos(6.36) \cdot \cos(2.41 - 2.34)) \approx 5812 \text{ km}$$

Cette formule peut être utilisée dans un tableur de type Excel. Mais il est plus facile et surtout plus juste de calculer la distance orthodromique l'aide d'un SIG comme QGIS. On peut également facilement calculer cette distance dans R à l'aide de la fonction `st_distance()` du package **sf** (*spatial features*).

La distance euclidienne

Dès lors que l'on travaille sur une portion suffisamment petite de la surface terrestre (disons de moins de 1000 x 1000 km), on peut négliger la rotondité de la Terre et calculer avec une approximation raisonnable les distances à partir de **coordonnées projetées**, c'est-à-dire ramenées dans un **plan orthonormé** où deux points i et j ont pour coordonnées (X_i, Y_i) et (X_j, Y_j) . On peut alors calculer la distance entre deux points à l'aide de la métrique euclidienne dont la formule de calcul (dérivée du théorème de Pythagore) est :

$$D_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}$$

La distance euclidienne

Exemple : Supposons que l'on veuille calculer la distance entre **Abidjan** et **Bouaké** qui ont pour coordonnées respectives de latitude et longitude :

- Abidjan : Longitude = 4.020° W , Latitude = 5.324°N
- Bouaké : Longitude = 5.050°W, Latitude = 7.698° N

Après application d'une projection qui minimise les déformations en Côte d'Ivoire (EPSG = 2043) les nouvelles coordonnées planaires mesurées en kilomètres sont devenues :

- Abidjan : X = 1052, Y = 590
- Bouaké : X = 936, Y = 852

On peut dès lors estimer la distance entre les deux villes par la formule

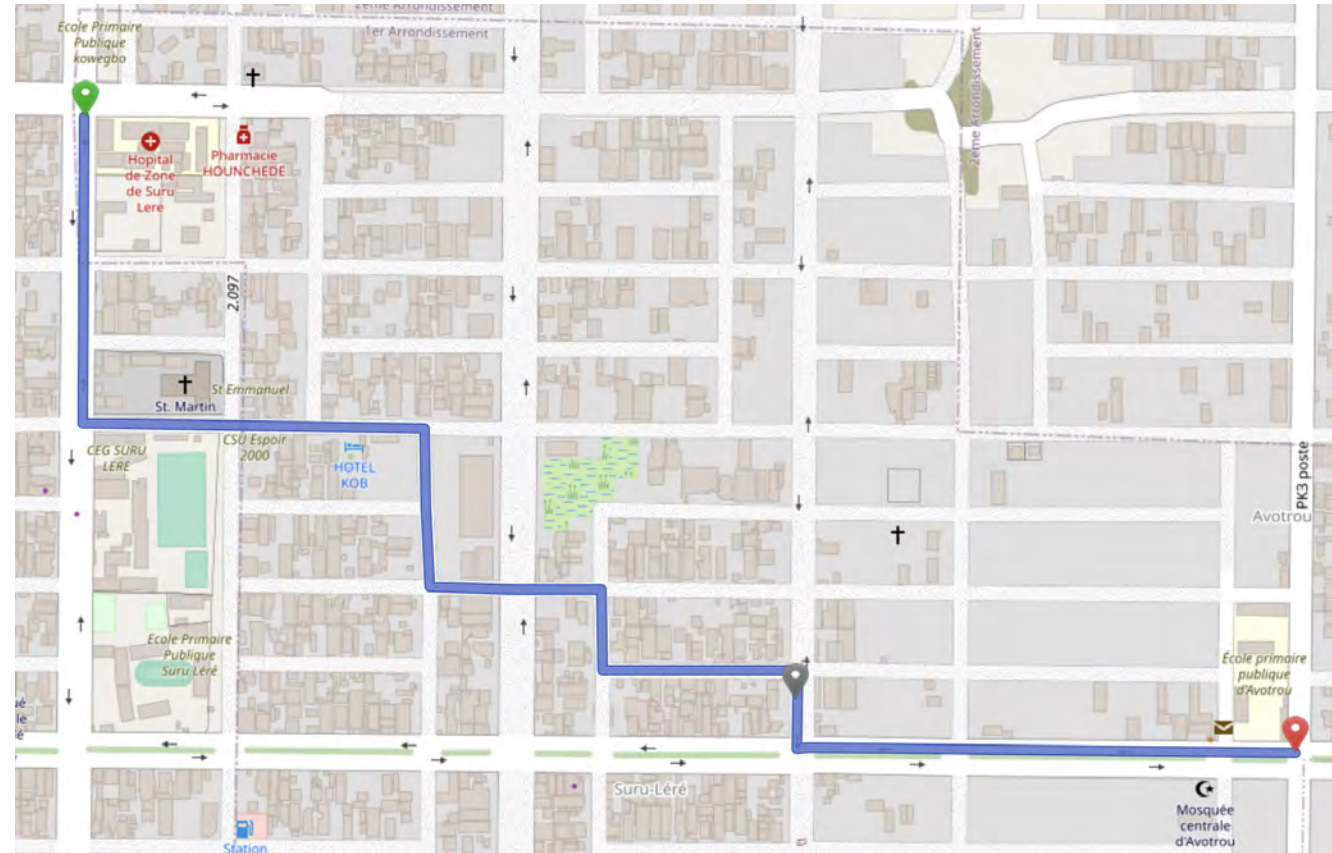
$$D_{ij} = \sqrt{(1052 - 936)^2 + (590 - 852)^2} = \sqrt{(116)^2 + (-262)^2} = \sqrt{82100} \approx 287km$$

La distance rectilinéaire (= distance de Manhattan = distance de Cotonou = ...)

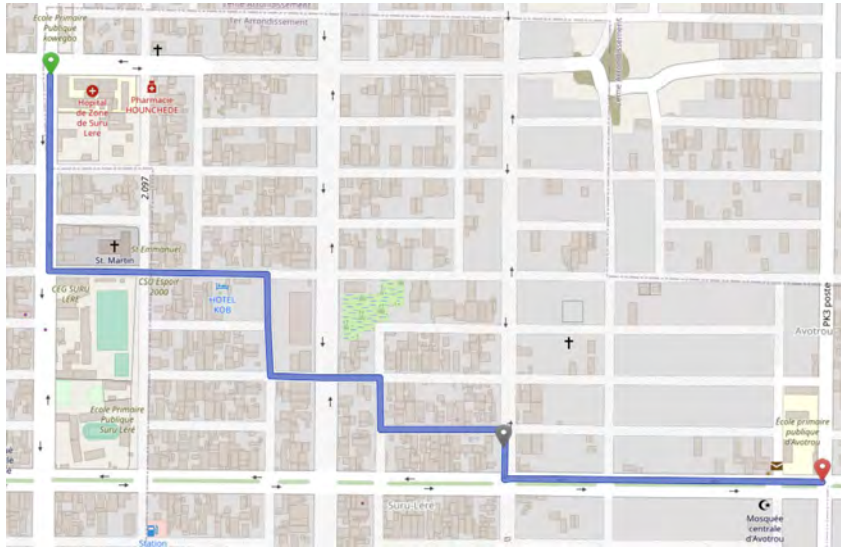
La distance rectilinéaire aussi appelée *distance city-block* ou *distance de Manhattan* est une métrique particulière adaptée au cas des villes ayant un réseau de transport organisé selon deux directions orthogonales.

Nous proposons de la rebaptiser ici **distance de Cotonou** dans la mesure où le centre de cette métropole offre un exemple presque parfait de plan en damier où toutes les rues sont de direction Nord-Sud ou Sud-Nord.

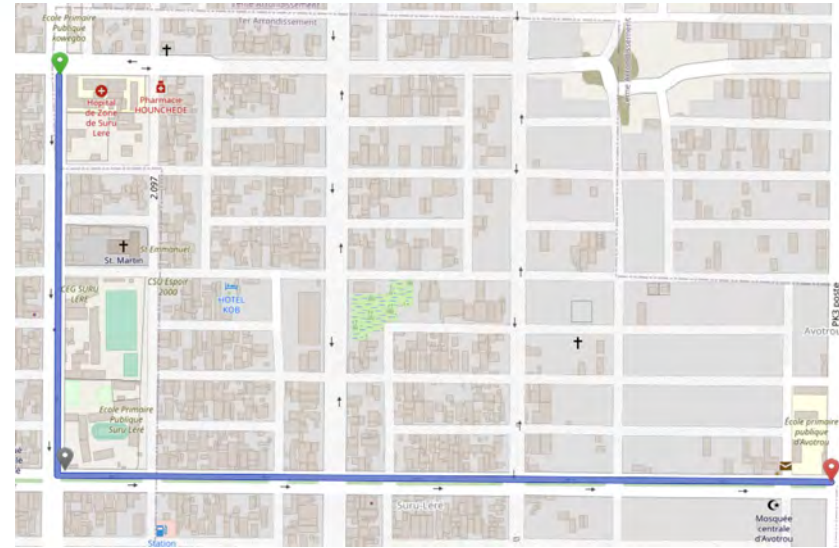
Supposons par exemple qu'un élève de l'école primaire de Kowegbo veuille retrouver un autre élève de l'école primaire d'Avotrou. Quel itinéraire va-t-il choisir s'il se déplace à pieds et veut prendre l'**itinéraire le plus rapide** ?



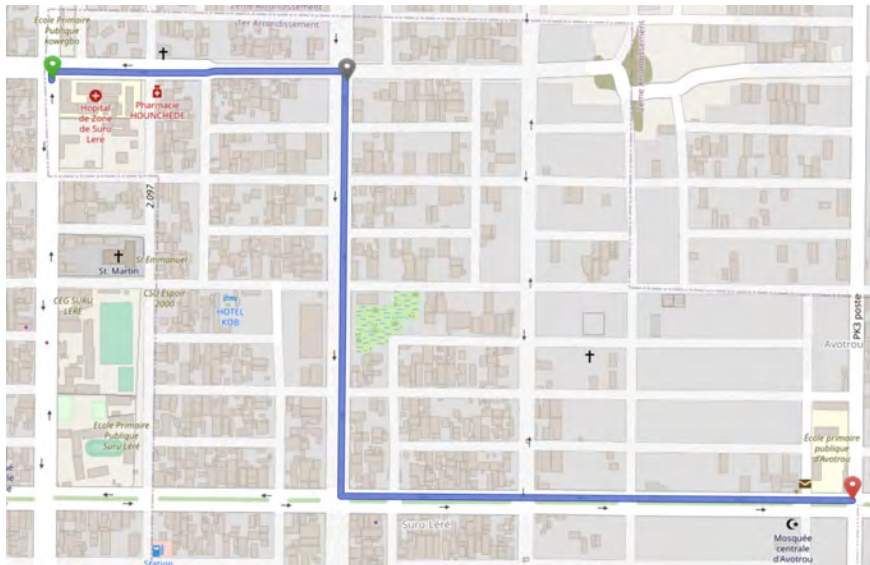
Approche théorique de la distance



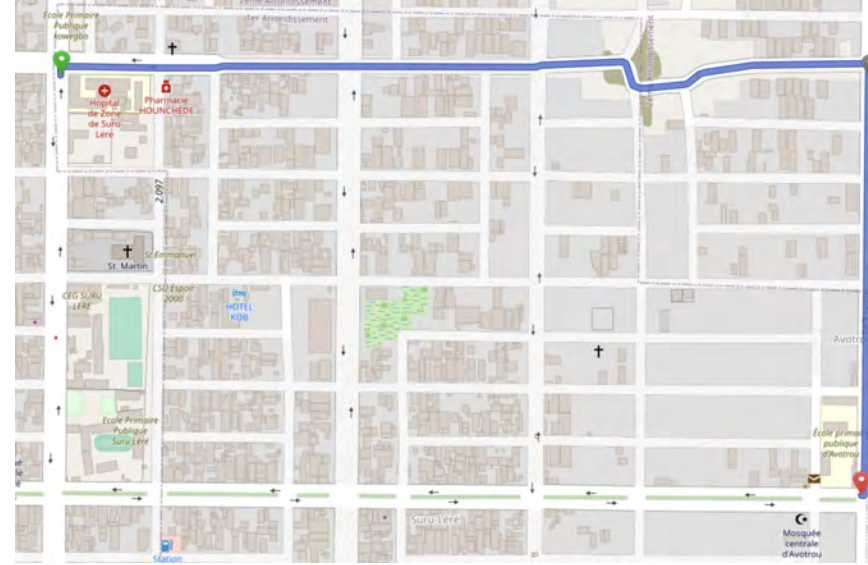
Solution n°1: 1.6 km / 22 minutes



Solution n°2: 1.6 km / 22 minutes



Solution n°3: 1.6 km / 22 minutes



Solution n°4: 1.7 km / 23 minutes

La distance rectilinéaire

Comme on peut le voir en se servant d'OSRM ou de Google Maps, il existe une très grande variété d'itinéraire possible qui aboutisse approximativement à la même distance de 1.6 km et 22 minutes. L'explication réside dans le fait qu'il est impossible de se déplacer en ligne droite selon un tracé euclidien et que l'on est obligé de parcourir une distance fixe dans le sens horizontal et une autre distance fixe dans le sens vertical. Mais comme il existe un grand nombre de rue Nord-Sud et Est-Ouest on est libre de choisir celles que l'on veut. La formule de la distance s'écrit alors :

$$D_{ij} = |X_i - X_j| + |Y_i - Y_j|$$

Dans l'exemple de Cotonou il faut effectuer un trajet de 1100 m dans le sens Ouest-Est et de 500 m dans le sens Sud-Nord, ce qui aboutit à un total de 1600 m quel que soit l'itinéraire adopté. La seule exception est l'itinéraire n°4 qui est un peu plus long car le plan en damier de la ville y est légèrement déformé par une place.

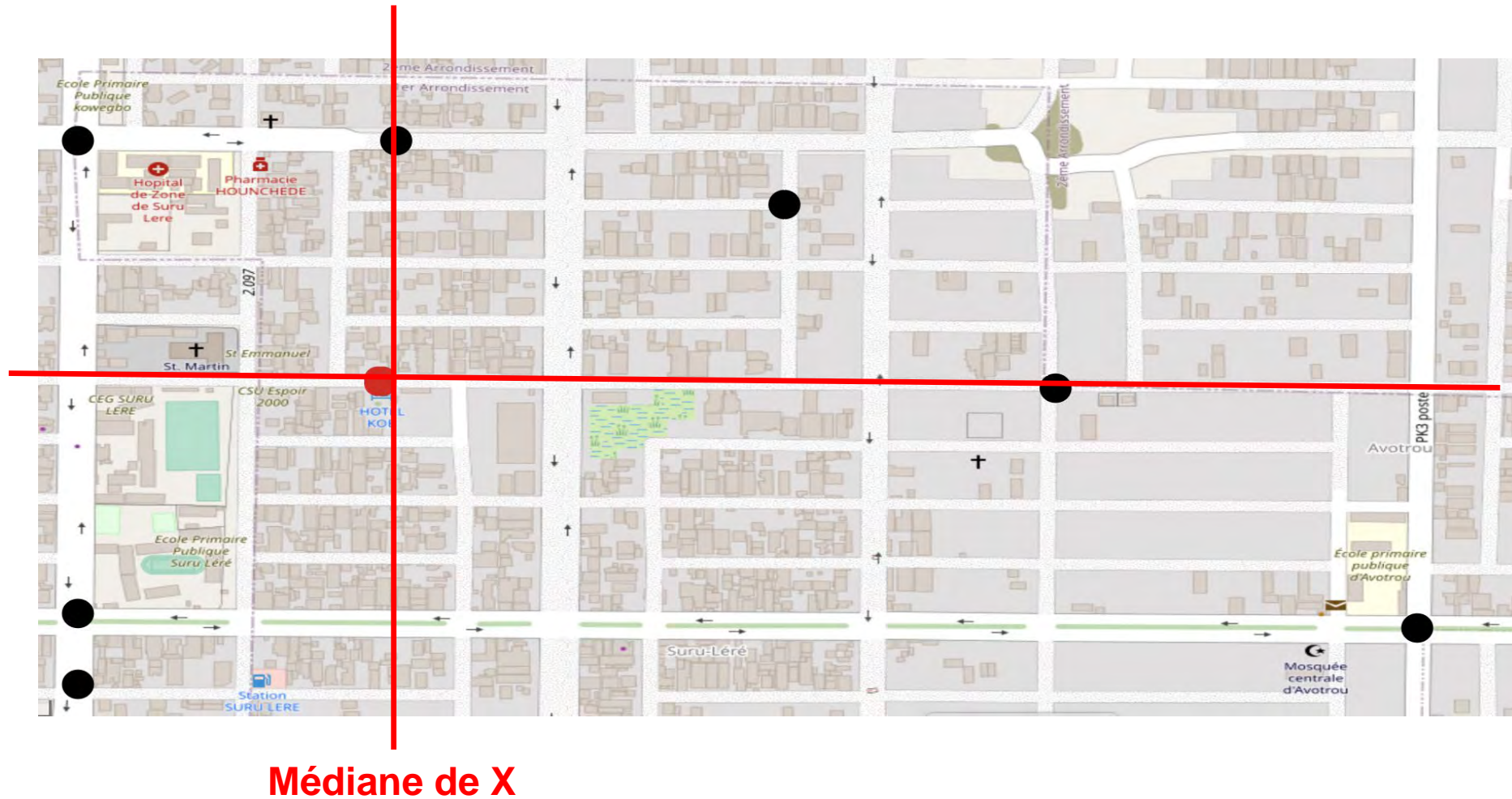
La distance rectilinéaire possède une propriété géographique remarquable : le point le plus accessible (M = point médian) pour un ensemble de n points de coordonnées $(X_1, Y_1) \dots (X_n, Y_n)$ est celui dont les coordonnées sont définies par :

$$M \begin{cases} X_m = \text{mediane}(X) \\ Y_m = \text{mediane}(Y) \end{cases}$$

Exercice : Soit 7 personnes localisées à Cotonou par les points noirs. Démontrez que le point de rencontre le plus **accessible** qui minimise la distance parcourue par l'ensemble des personnes est l'Hotel Kolb (point rouge). Indiquez ensuite par un point bleu la localisation du point le plus **équitable** qui est celui où la personne la plus éloignée aura la distance la plus faible à parcourir.



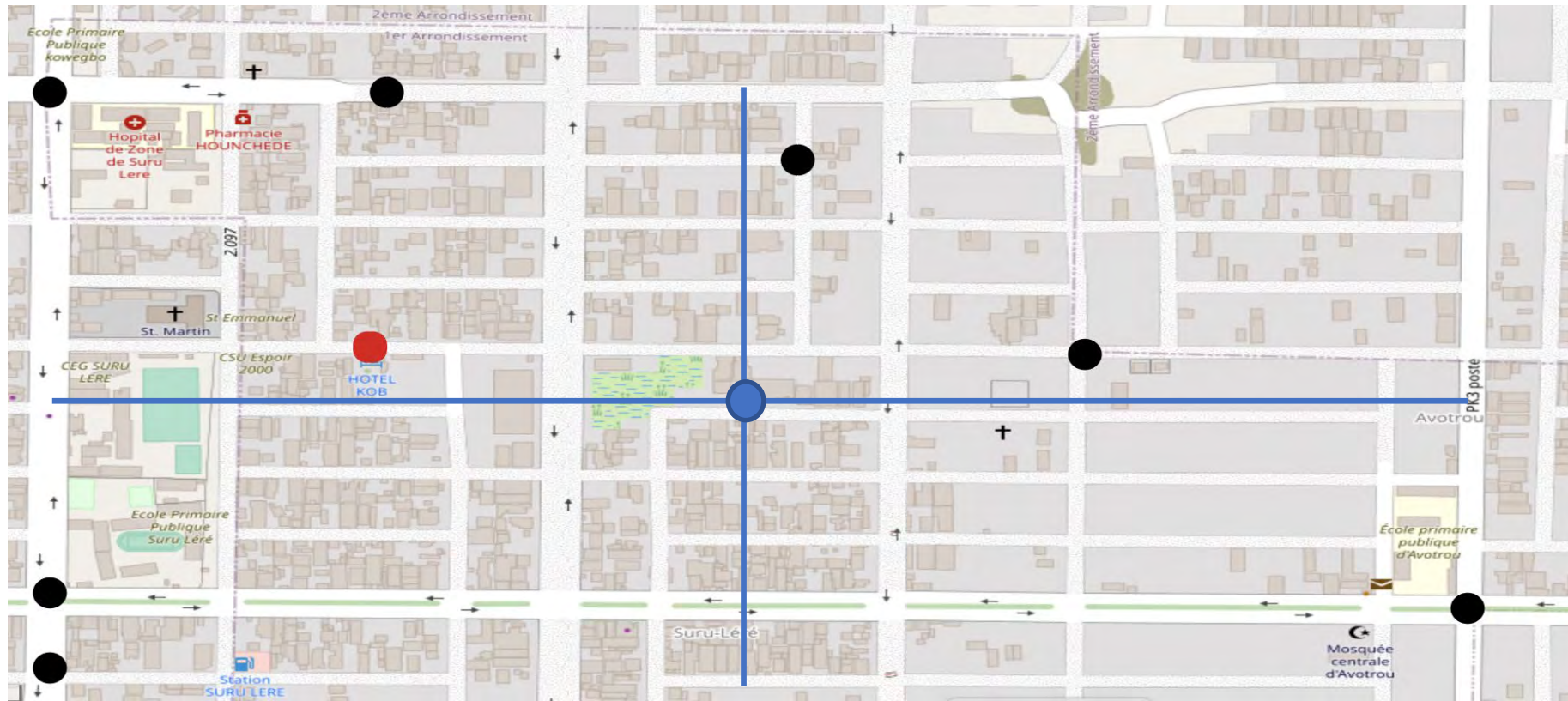
La distance rectilinéaire : point le plus accessible



Médiane de Y

Médiane de X

La distance rectilinéaire : point le plus équitable

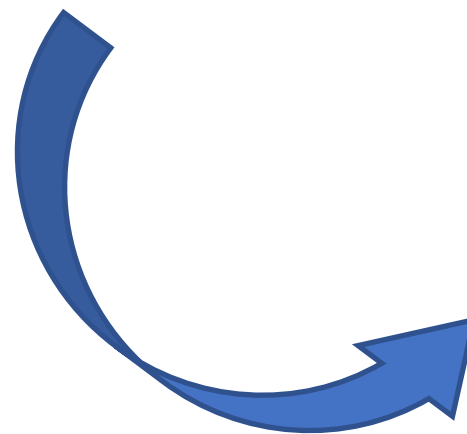
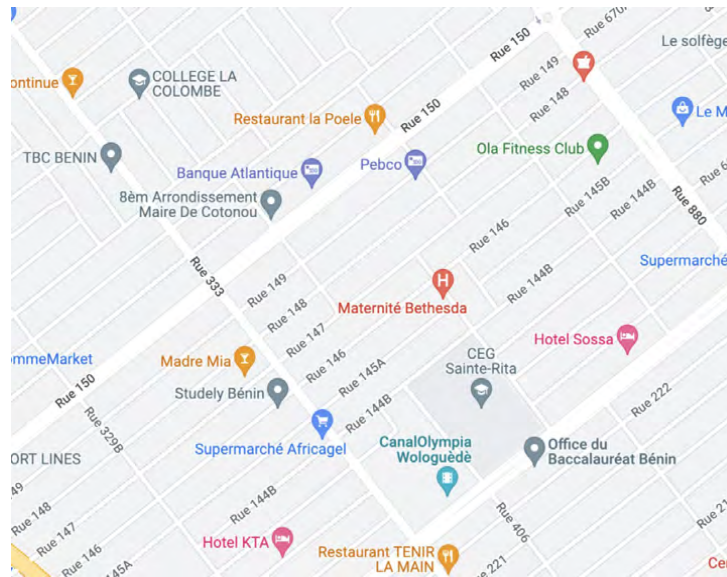


$(Ymin + Ymax)/2$

$(Xmin + Xmax)/2$

La distance rectilinéaire : rotation des axes !

Remarque importante : La métrique rectilinéaire n'est applicable valablement que dans le cas où le réseau de transport est bien orienté dans les deux directions verticales et horizontales après projection. Si ce n'est pas le cas, il faut procéder à une **rotation** des coordonnées. Ainsi, dans le cas de Cotonou, certains quartiers ont des rues orientées dans les directions NO-SE et NE-SO, de sorte qu'on ne peut pas y effectuer de calculs de distance rectilinéaire tant que l'on n'a pas fait pivoter la carte de 45° environ.



Propriétés théoriques des distances

Les trois distances théoriques vues précédemment sont des **métriques** qui respectent les trois propriétés suivantes :

1. $D_{i,i} = 0$ la distance d'un point à lui-même est **nulle**
2. $D_{i,j} = D_{j,i}$ la distance est **symétrique** et est la même dans les deux directions
3. $D_{i,j} + D_{j,k} \geq D_{i,k}$ respect de **l'inégalité triangulaire**

On peut montrer néanmoins facilement que ces propriétés des distances théoriques ne sont pas toujours vérifiées par les distances empiriques.

Propriété 1 : la distance d'un lieu à lui-même est-elle nulle ?

Les distances entre les habitants d'une même région (ou d'une même ville) ne sont jamais nulles. Lorsqu'on crée une matrice de distance entre régions en se servant des centroïdes ou des chef-lieu, on ne devrait pas mettre « 0 » sur la diagonale mais une valeur correspondant à la distance moyenne entre deux points situés à l'intérieur de la région.

On utilise parfois la formule suivante ou la distance interne à une zone est égale à la racine carrée de sa surface divisée par deux :

$$D_{i,i} = \frac{\sqrt{S_i}}{2}$$

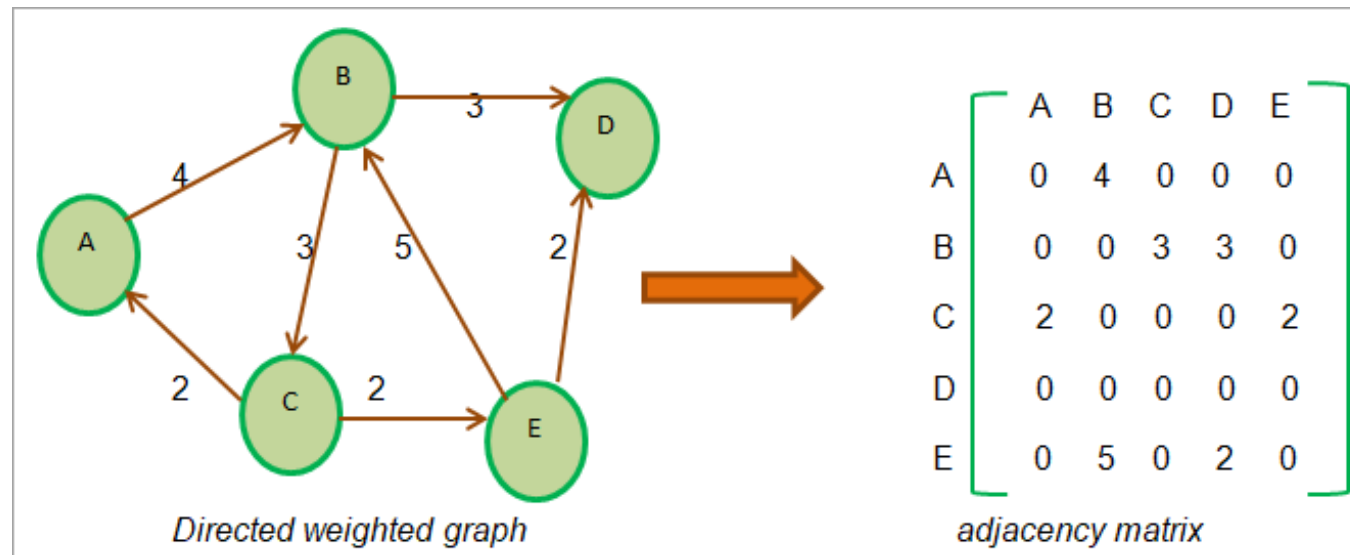
Exemple : le district autonome de Yamoussoukro a une superficie de 2075 km². On peut donc estimer la distance moyenne entre ses habitants à 22.8 km



Propriété 2 : la distance est-elle toujours symétrique ?

Les distances réelles ne sont pas toujours symétriques car le nombre de kilomètre, le temps ou le coût peuvent être plus fort dans un sens que dans l'autre. C'est typiquement le cas en ville lorsqu'il y a des rues à sens unique

Exemple : Dans le graphe ci-dessous on suppose que les flèches indiquent le tracé des rues à sens unique et les chiffres le nombre de minutes nécessaire pour aller d'un point à un autre.

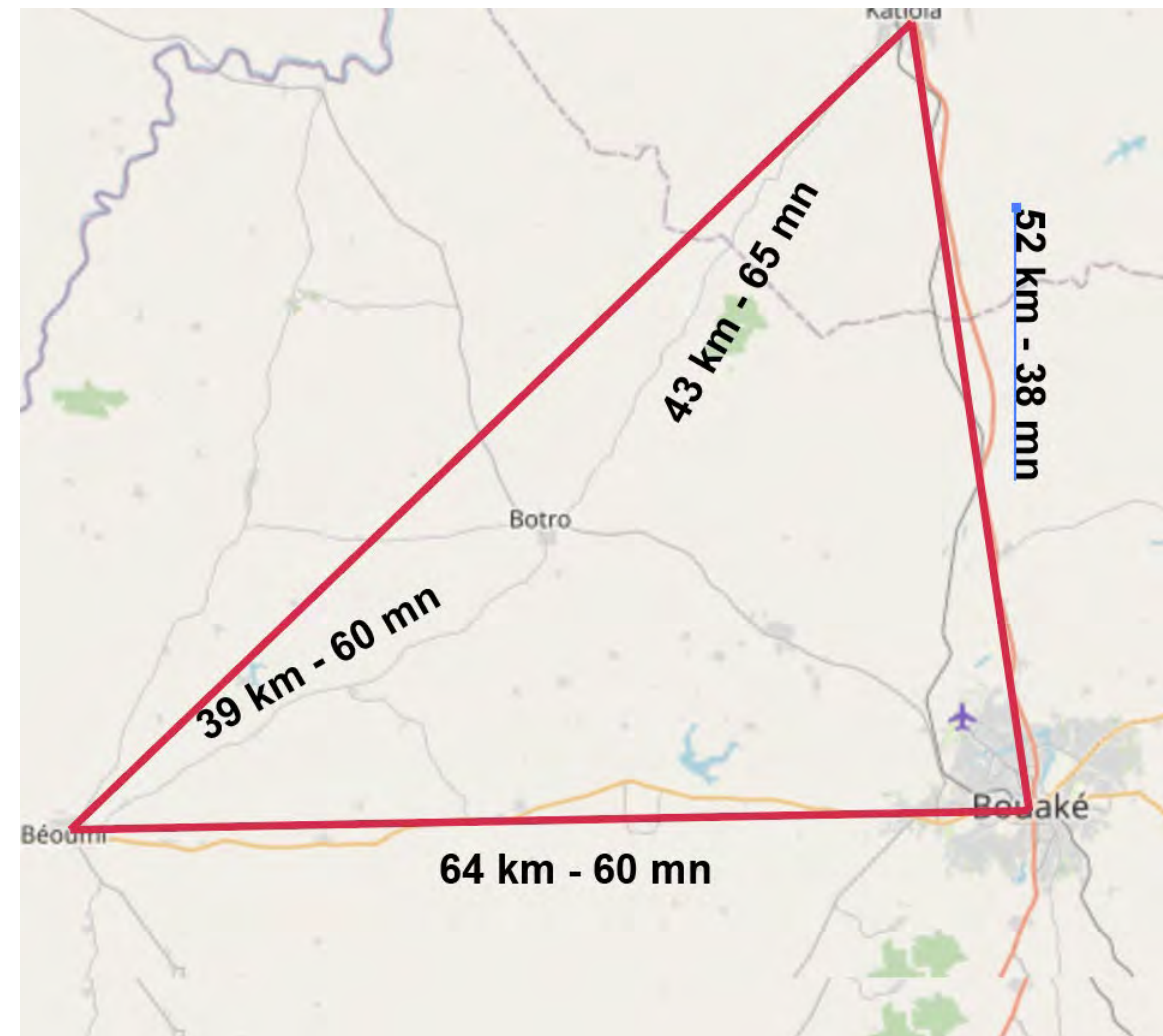


Question: le temps nécessaire pour se rendre de C à A est il le même que pour se rendre de A à C ?

Propriété 3 : l'inégalité triangulaire est-elle toujours respectée ?

L'inégalité triangulaire n'est pas toujours respectée notamment lorsque l'on est en présence d'un réseau de transport inégalitaire et hiérarchisé où il faut passer par un centre. Il arrive alors fréquemment que l'inégalité triangulaire soit respectée pour les distances kilométriques mais pas pour les distances.

Exemple : Les distance routière entre les villes de Côte d'Ivoire de Béomia (i) , Bouaké (j) et Katiola (k) respectent l'inégalité routière en kilomètre. On fera en effet moins de kilomètres si on prend la route la plus directe entre les deux villes de Béomia et Katiola qui passe par Botro. Mais si on raisonne en temps, il apparaît beaucoup plus avantageux de passer par Bouaké pour se rendre de Béomia à Katiola et dans ce cas l'inégalité triangulaire n'est plus respectée.



INDICATEURS D'ACCESSIBILITE ET D'EFFICACITE

Une fois résolu le problème de calcul de la **distance entre deux points**, on va essayer de créer **une ou plusieurs matrice de distance** entre un ensemble de lieux ce qui permettra d'aborder trois questions

Accessibilité : quel lieu est le plus proche de tous les autres ? le plus éloigné ?

Inégalités : quels lieux sont bien reliés ou mal reliés aux autres ?

Performance : quels tronçons routiers sont les plus efficaces ? Les moins efficaces

Nous allons prendre l'exemple des **districts de Côte d'Ivoire**, mais l'analyse pourra facilement être transposée à d'autres pays ou d'autres niveaux de découpage territorial. Par souci de simplicité **les calculs seront non pondérés** ce qui signifie qu'on ne tiendra pas compte de leur population et on considèrera que chacun peut être relié aux autres de façon égalitaire.

Cas d'étude : les districts de Côte d'Ivoire

Type de distance : plus court chemin routier



Cf. cours de R sur le Package osrm

Distance euclidienne à vol d'oiseau en km entre chefs-lieux (Eij)

Eij	Abe	Abi	Bon	Bou	Dab	Dal	Dim	Gag	Kor	Man	Odi	San	Ség	Yam
Abengourou	0	168	163	202	186	327	134	280	383	453	543	415	376	195
Abidjan	168	0	331	287	40	320	166	233	493	453	607	300	415	215
Bondoukou	163	331	0	250	349	423	260	408	349	528	548	562	426	304
Bouaké	202	287	250	0	275	180	122	201	206	277	342	373	181	102
Dabou	186	40	349	275	0	288	153	197	481	420	583	262	388	192
Daloa	327	320	423	180	288	0	195	99	302	134	317	237	123	132
Dimbokro	134	166	260	122	153	195	0	150	328	324	446	303	261	64
Gagnoa	280	233	408	201	197	99	150	0	372	225	414	172	218	107
Korhogo	383	493	349	206	481	302	328	372	0	311	212	536	202	298
Man	453	453	528	277	420	134	324	225	311	0	234	310	115	261
Odienné	543	607	548	342	583	317	446	414	212	234	0	537	197	392
San-Pédro	415	300	562	373	262	237	303	172	536	310	537	0	357	276
Séguéla	376	415	426	181	388	123	261	218	202	115	197	357	0	202
Yamoussoukro	195	215	304	102	192	132	64	107	298	261	392	276	202	0

Cette distance suppose que le déplacement puisse s'effectuer en ligne droite sans aucun obstacle. Elle correspondrait par exemple au trajet d'un drone (en l'absence de vent)

Avantages

- Facile à calculer
- Situation théorique de réseau de transport homogène et isotrope.

Inconvénients

- Ne tient pas compte des détours
- Ne tient pas compte de la qualité de l'infrastructure
- Ne tient pas compte de la congestion, des accidents, du racket, ...

Distance routière entre chefs-lieux par l'itinéraire le plus rapide en km (Rij)

Rij	Abe	Abi	Bon	Bou	Dab	Dal	Dim	Gag	Kor	Man	Odi	San	Ség	Yam
Abengourou	0	205	196	291	235	385	162	324	506	571	738	522	510	242
Abidjan	205	0	398	346	49	378	236	272	562	564	794	336	502	234
Bondoukou	196	398	0	400	428	579	356	517	521	765	753	716	591	435
Bouaké	291	346	400	0	330	246	192	244	223	432	454	473	197	112
Dabou	235	49	428	330	0	361	220	238	546	548	777	288	486	218
Daloa	385	378	579	246	361	0	224	137	462	188	450	266	129	144
Dimbokro	162	236	356	192	220	224	0	163	409	410	640	391	349	81
Gagnoa	324	272	517	244	238	137	163	0	461	275	536	231	264	135
Korhogo	506	562	521	223	546	462	409	461	0	497	233	689	294	329
Man	571	564	765	432	548	188	410	275	497	0	264	404	136	330
Odienné	738	794	753	454	777	450	640	536	233	264	0	666	244	560
San-Pédro	522	336	716	473	288	266	391	231	689	404	666	0	394	363
Séguéla	510	502	591	197	486	129	349	264	294	136	244	394	0	269
Yamoussoukro	242	234	435	112	218	144	81	135	329	330	560	363	269	0

Cette distance correspond au trajet effectué par une voiture dans des conditions optimales de circulation en roulant à la vitesse maximale autorisée

Avantages

- Calcul plus réaliste que la distance à vol d'oiseau.
- Tient compte des détours et de la qualité des infrastructures.

Inconvénients

- Résultats variables selon l'API utilisée pour calculer le plus court chemin.
- Ne tient pas forcément compte de la congestion, des accidents, du racket, ...
- Donne des résultats variables selon les jours de collecte pour une même API.

Temps routier entre chefs-lieux par l'itinéraire le plus rapide en minutes (Tij)

Tij	Abe	Abi	Bon	Bou	Dab	Dal	Dim	Gag	Kor	Man	Odi	San	Ség	Yam
Abengourou	0	194	192	298	222	346	160	312	461	505	674	487	460	227
Abidjan	194	0	381	257	50	286	177	236	420	445	634	316	400	167
Bondoukou	192	381	0	411	409	533	348	499	536	692	750	675	636	415
Bouaké	298	257	411	0	265	203	160	223	189	362	403	427	252	92
Dabou	222	50	409	265	0	294	185	241	429	453	642	268	409	176
Daloa	346	286	533	203	294	0	189	140	366	163	404	244	122	121
Dimbokro	160	177	348	160	185	189	0	155	324	348	537	359	304	71
Gagnoa	312	236	499	223	241	140	155	0	386	270	510	211	258	135
Korhogo	461	420	536	189	429	366	324	386	0	463	216	590	358	255
Man	505	445	692	362	453	163	348	270	463	0	247	374	194	280
Odienné	674	634	750	403	642	404	537	510	216	247	0	614	303	468
San-Pédro	487	316	675	427	268	244	359	211	590	374	614	0	362	340
Séguéla	460	400	636	252	409	122	304	258	358	194	303	362	0	235
Yamoussoukro	227	167	415	92	176	121	71	135	255	280	468	340	235	0

Cette distance correspond au trajet effectué par une voiture dans des conditions optimales de circulation en roulant à la vitesse maximale autorisée

Avantages

- Calcul plus réaliste que la distance à vol d'oiseau.
- Tient compte des détours et de la qualité des infrastructures.

Inconvénients

- Résultats variables selon l'API utilisée pour calculer le plus court chemin.
- Ne tient pas forcément compte de la congestion, des accidents, du racket, ...
- Donne des résultats variables selon les jours de collecte pour une même API.

INDICATEURS D'ACCESSIBILITE

Plusieurs indices sont possibles qui définissent différentes formes d'accessibilité. On en retiendra deux ici :

Distance moyenne (critère d'efficacité)

On peut la calculer soit pour l'ensemble de la matrice, soit pour les lignes, soit pour les colonnes (si elles sont différentes des lignes). Le point qui est le plus proche de tous les autres est le *point médian*. Il correspond à la localisation la plus efficace et on l'utilisera typiquement pour localiser un entrepôt ou un commerce.

Distance maximum (critère d'équité)

On utilise cette distance pour la recherche des localisations les plus équitables, c'est-à-dire celles où le plus défavorisé est le moins défavorisé possible. On l'utilisera par exemple pour localiser une caserne de pompier qui doivent intervenir le plus vite possible pour éteindre un feu

Cf. exemple de Cotonou sur le point le plus efficace ou le plus équitable

Accessibilité moyenne des chefs-lieux de districts de Côte d'Ivoire

	Km à vol d'oiseau	Km par la route	Temps par la route
Abengourou	543	738	672
Abidjan	607	795	632
Bondoukou	562	765	749
Bouaké	373	474	425
Dabou	583	778	640
Daloa	423	579	532
Dimbokro	446	641	535
Gagnoa	414	536	509
Korhogo	536	690	588
Man	528	765	691
Odienné	607	795	749
San-Pédro	562	716	673
Séguéla	426	591	635
Yamoussoukro	392	561	467

Dans le cas de la Côte d'Ivoire, on peut vérifier que le district le plus accessible par la route (en temps ou en kilomètre) est celui de **Yamoussoukro** qui se trouve en moyenne à 196 km à vol d'oiseau, 247 kilomètres et 560 minutes par la route à l'ensemble des districts. Par comparaison, la capitale économique Abidjan est nettement moins accessible avec une distance moyenne de 288 km à vol d'oiseau, 349 km et 738 mn par la route pour rejoindre l'ensemble des districts. Il faut toutefois noter que ce calcul ne tient pas compte des populations concernées et on trouverait des résultats différents si l'on avait pondéré les calculs par la population des districts.

Distance maximale des chefs-lieux de districts de Côte d'Ivoire

	Km à vol d'oiseau	Km par la route	Temps par la route
Abengourou	543	738	672
Abidjan	607	795	632
Bondoukou	562	765	749
Bouaké	373	474	425
Dabou	583	778	640
Daloa	423	579	532
Dimbokro	446	641	535
Gagnoa	414	536	509
Korhogo	536	690	588
Man	528	765	691
Odienné	607	795	749
San-Pédro	562	716	673
Séguéla	426	591	635
Yamoussoukro	392	561	467

Dans le cas de la Côte d'Ivoire, c'est le district de **Bouaké** qui apparaît le plus *équitable* car son éloignement maximal à un autre district est de 373 km à vol d'oiseau, 473 kilomètres et 427 minutes par la route ce qui est la plus faible valeur observée dans le tableau. Yamoussoukro est certes plus accessible en moyenne, mais son éloignement maximal à un autre district est de 392 km à vol d'oiseau, 560 km et 468 mn par la route ce qui est plus que Bouaké. Le choix de Bouaké est donc le choix le plus équitable, celui où « le plus défavorisé est le moins défavorisé possible ».

INDICATEURS D'EFFICACITE

Pour mesurer l'efficacité d'un réseau de transport, on peut construire des indices qui combinent entre elles plusieurs mesures de distance. On se limitera ici au cas de l'efficacité du réseau routier que l'on peut évaluer à l'aide de nos trois matrices de distances.

Indice de sinuosité : il mesure les détours routiers imposés par le choix de l'itinéraire le plus rapide. Il se calcule en effectuant le rapport entre la distance routière et la distance euclidienne

$$I_{i,j}^{\text{sinuosité}} = \frac{R_{i,j}}{E_{i,j}}$$

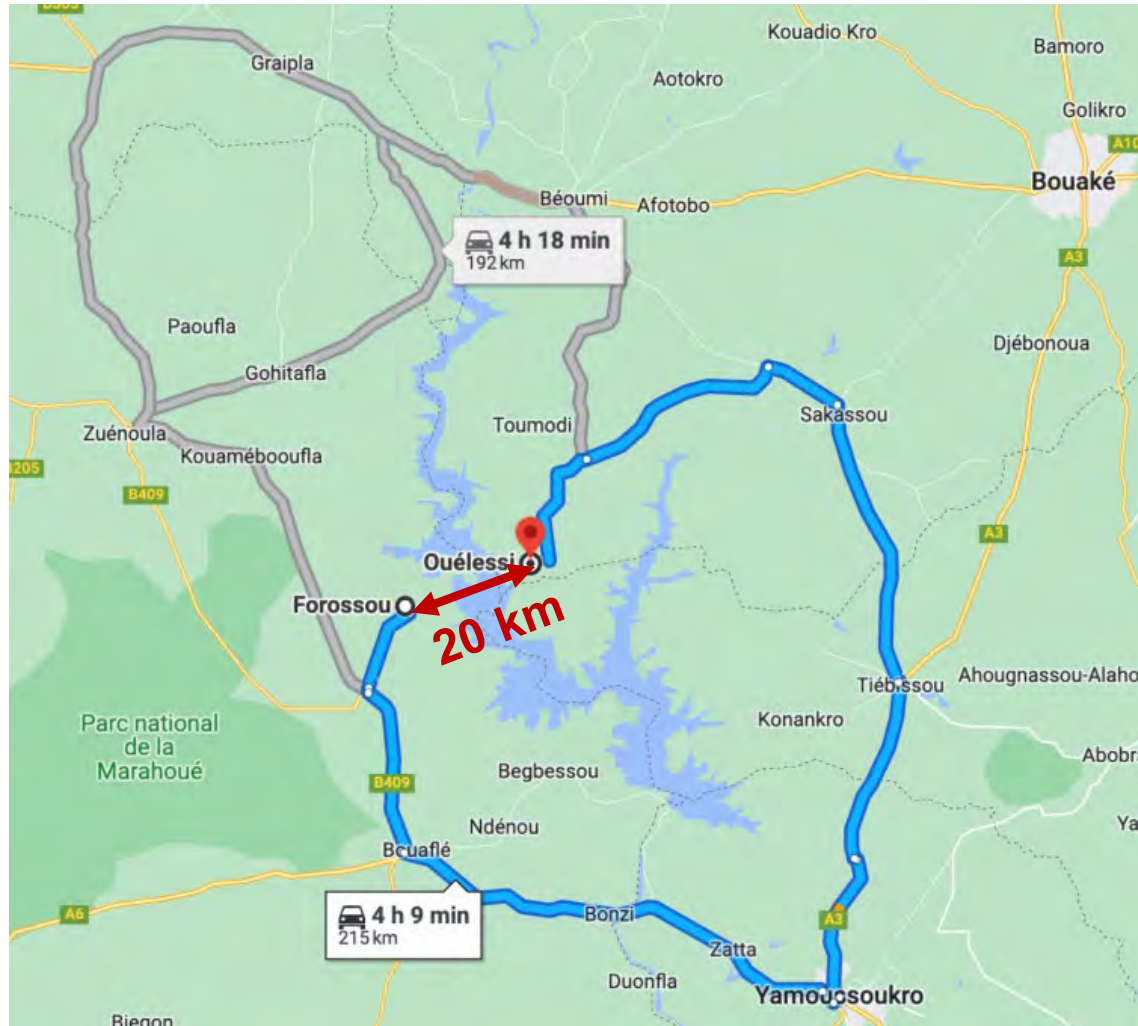
Indice de vitesse sur reseau : il mesure la vitesse moyenne d'un véhicule le long du trace de l'itinéraire le plus rapide en temps (sans tenir compte des detours)

$$I_{i,j}^{\text{vitesse}} = \frac{R_{i,j}}{T_{i,j}}$$

Indice d'efficacité : il combine les deux précédents en mesurant si l'itinéraire est à la fois direct (faible sinuosité) et rapide (vitesse élevée) ce qui donne une **vitesse euclidienne à vol d'oiseau** :

$$I_{i,j}^{\text{efficacité}} = \frac{I_{i,j}^{\text{vitesse}}}{I_{i,j}^{\text{sinuosité}}} = \frac{\frac{R_{i,j}}{T_{i,j}}}{\frac{R_{i,j}}{E_{i,j}}} = \frac{E_{i,j}}{T_{i,j}}$$

Exemple de calcul : la liaison Forossou-Ouésouli



$$E_{ij} = 20 \text{ km}$$

$$R_{ij} = 215 \text{ km}$$

$$T_{ij} = 369 \text{ minutes}$$

Indice de sinuosité

$$I_{\text{sinuosité}} = R_{ij} / E_{ij} = 215 / 20 = 10.1$$

Indice de vitesse sur route

$$I_{\text{vitesse}} = T_{ij} / R_{ij} = 215 / 369 = 0.58 \text{ km / mn} \\ = 35 \text{ km / h}$$

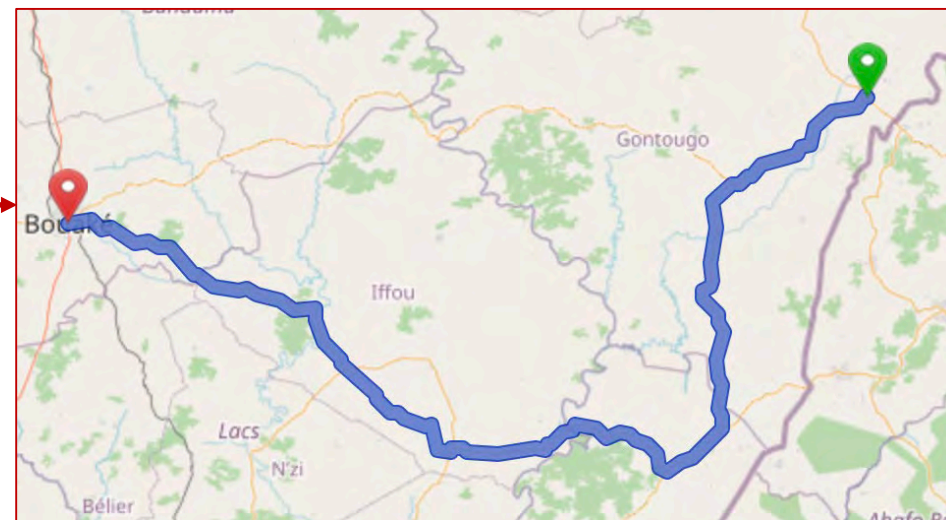
Indice d'efficacité

$$I_{\text{efficacité}} = T_{ij} / E_{ij} = 20 / 369 = 0.054 \text{ km / mn} \\ = 3.3 \text{ km / h}$$

Indice de sinuosité des plus courts chemins routiers

Rij / Eij	Abe	Abi	Bon	Bou	Dab	Dal	Dim	Gag	Kor	Man	Odi	San	Ség	Yam
Abengourou	NA	1.22	1.20	1.44	1.27	1.18	1.21	1.15	1.32	1.26	1.36	1.26	1.36	1.24
Abidjan	1.22	NA	1.21	1.21	1.24	1.18	1.42	1.17	1.14	1.24	1.31	1.12	1.21	1.09
Bondoukou	1.20	1.21	NA	1.60	1.23	1.37	1.37	1.27	1.49	1.45	1.37	1.27	1.39	1.43
Bouaké	1.44	1.21	1.60	NA	1.20	1.37	1.58	1.22	1.08	1.56	1.33	1.27	1.09	1.11
Dabou	1.27	1.24	1.23	1.20	NA	1.26	1.44	1.21	1.14	1.30	1.34	1.10	1.25	1.14
Daloa	1.18	1.18	1.37	1.37	1.26	NA	1.15	1.38	1.54	1.40	1.42	1.12	1.05	1.09
Dimbokro	1.21	1.42	1.37	1.58	1.44	1.15	NA	1.09	1.25	1.26	1.44	1.29	1.33	1.27
Gagnoa	1.15	1.17	1.27	1.22	1.21	1.38	1.09	NA	1.24	1.22	1.29	1.34	1.21	1.26
Korhogo	1.32	1.14	1.49	1.08	1.14	1.54	1.25	1.24	NA	1.60	1.10	1.29	1.46	1.11
Man	1.26	1.24	1.45	1.56	1.30	1.40	1.26	1.22	1.60	NA	1.13	1.30	1.19	1.27
Odienné	1.36	1.31	1.37	1.33	1.34	1.42	1.44	1.29	1.10	1.13	NA	1.24	1.24	1.43
San-Pédro	1.26	1.12	1.27	1.27	1.10	1.12	1.29	1.34	1.29	1.30	1.24	NA	1.10	1.32
Séguéla	1.36	1.21	1.39	1.09	1.25	1.05	1.33	1.21	1.46	1.19	1.24	1.10	NA	1.33
Yamoussoukro	1.24	1.09	1.43	1.11	1.14	1.09	1.27	1.26	1.11	1.27	1.43	1.32	1.33	NA
moyenne	1.27	1.21	1.36	1.31	1.24	1.27	1.32	1.23	1.29	1.32	1.31	1.23	1.25	1.24

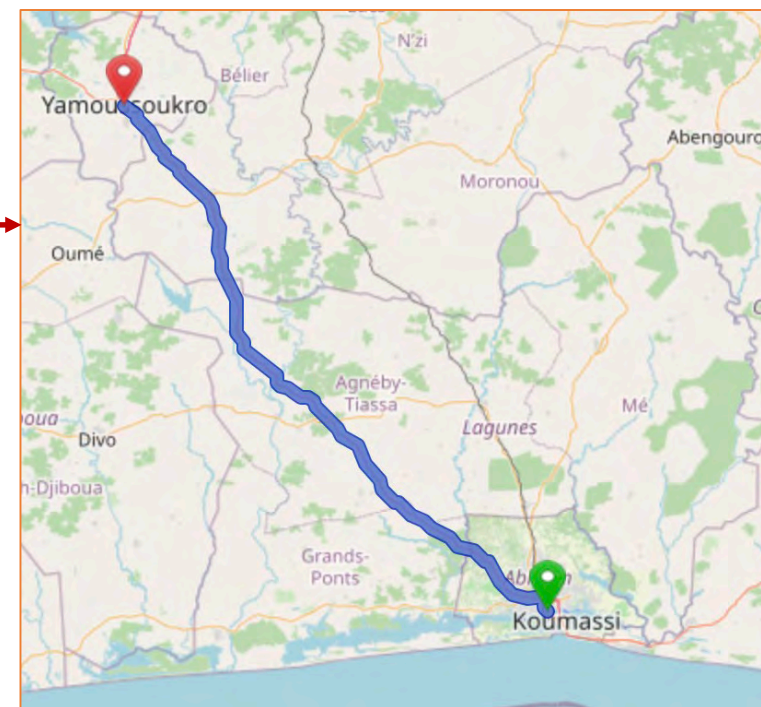
Bondoukou - Bouaké



Eij = 250 km
 Rij = 400 km
 Tij = 411 minutes
 | sinuosité = **1.60**
 | vitesse = **58.5 km/h**
 | efficacité = **36.6 km/h**

Indice de vitesse des plus courts chemins routiers

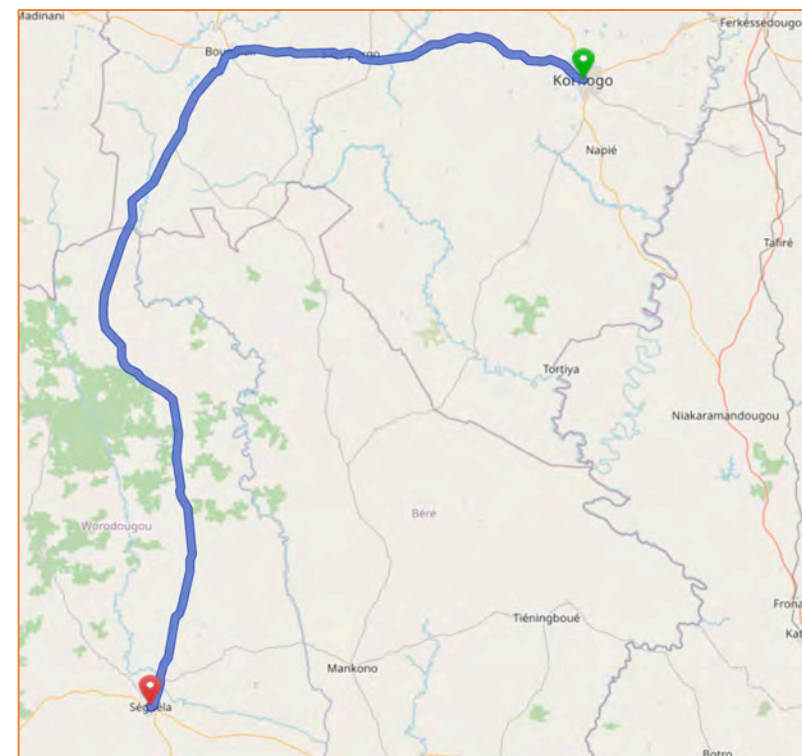
Tij/Rij	Abe	Abi	Bon	Bou	Dab	Dal	Dim	Gag	Kor	Man	Odi	San	Ség	Yam,
Abengourou	NA	63.4	61.4	58.7	63.8	66.9	60.8	62.4	66.2	67.9	65.8	64.4	66.5	63.9
Abidjan	63.4	NA	62.8	81.2	57.6	79.2	80.0	69.0	80.7	76.0	75.4	63.8	75.3	83.9
Bondoukou	61.4	62.8	NA	58.5	63.0	65.2	61.5	62.3	58.4	66.4	60.3	63.8	55.9	63.1
Bouaké	58.7	81.2	58.5	NA	75.2	73.4	72.8	66.4	70.8	72.0	67.8	66.9	46.9	74.9
Dabou	63.8	57.6	63.0	75.2	NA	73.9	71.5	59.4	77.0	72.6	73.0	64.6	71.5	74.8
Daloa	66.9	79.2	65.2	73.4	73.9	NA	71.1	58.8	76.3	69.3	67.1	65.8	63.8	71.7
Dimbokro	60.8	80.0	61.5	72.8	71.5	71.1	NA	63.0	76.4	70.7	71.9	65.5	69.0	68.7
Gagnoa	62.4	69.0	62.3	66.4	59.4	58.8	63.0	NA	72.1	61.2	63.3	65.9	61.6	59.8
Korhogo	66.2	80.7	58.4	70.8	77.0	76.3	76.4	72.1	NA	64.6	64.6	70.5	49.5	78.1
Man	67.9	76.0	66.4	72.0	72.6	69.3	70.7	61.2	64.6	NA	64.4	65.1	42.2	70.9
Odienné	65.8	75.4	60.3	67.8	73.0	67.1	71.9	63.3	64.6	64.4	NA	65.3	48.4	72.2
San-Pédro	64.4	63.8	63.8	66.9	64.6	65.8	65.5	65.9	70.5	65.1	65.3	NA	65.5	64.3
Séguéla	66.5	75.3	55.9	46.9	71.5	63.8	69.0	61.6	49.5	42.2	48.4	65.5	NA	68.7
Yamoussoukro	63.9	83.9	63.1	74.9	74.8	71.7	68.7	59.8	78.1	70.9	72.2	64.3	68.7	NA
moyenne	64.0	72.9	61.7	68.1	69.1	69.4	69.5	63.5	69.6	66.4	66.1	65.5	60.4	70.4



Eij = 215 km
Rij = 234 km
Tij = 167 minutes
 | sinuosité = **1.09**
 | vitesse = **83.9 km/h**
 | efficacité = **76.9 km/h**

Indice d'efficacité des plus courts chemins routiers

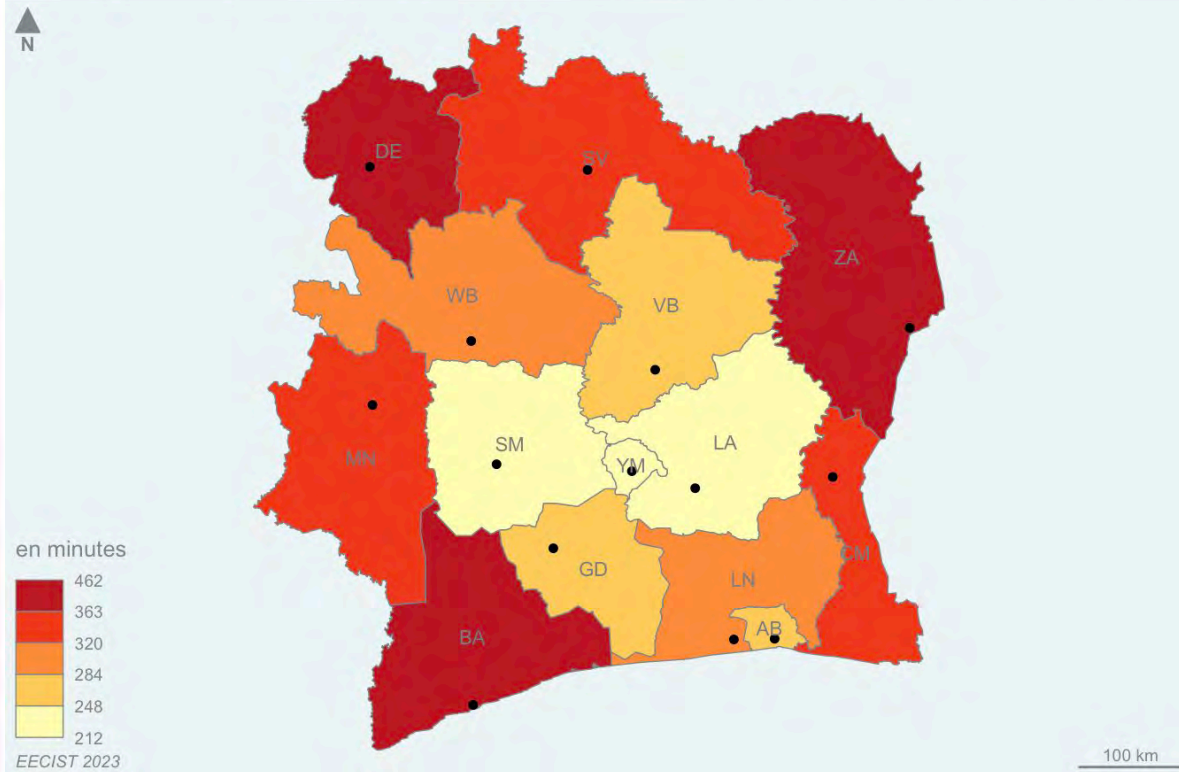
Tij/Eij	Abe	Abi	Bon	Bou	Dab	Dal	Dim	Gag	Kor	Man	Odi	San	Ség	Yam
Abengourou	NA	51.9	51.3	40.7	50.4	56.8	50.2	54.0	50.1	53.9	48.5	51.1	49.1	51.6
Abidjan	51.9	NA	52.1	67.3	46.4	67.1	56.3	58.9	70.6	61.1	57.6	56.9	62.2	76.9
Bondoukou	51.3	52.1	NA	36.6	51.3	47.7	45.0	49.1	39.1	45.8	43.9	50.1	40.3	44.1
Bouaké	40.7	67.3	36.6	NA	62.5	53.5	46.0	54.4	65.6	46.1	51.0	52.6	43.2	67.2
Dabou	50.4	46.4	51.3	62.5	NA	58.8	49.7	49.1	67.7	55.7	54.7	58.6	57.1	65.9
Daloa	56.8	67.1	47.7	53.5	58.8	NA	61.8	42.6	49.6	49.4	47.2	58.5	61.0	65.6
Dimbokro	50.2	56.3	45.0	46.0	49.7	61.8	NA	58.1	61.2	55.9	50.1	50.7	51.7	54.2
Gagnoa	54.0	58.9	49.1	54.4	49.1	42.6	58.1	NA	58.1	50.2	48.9	49.1	50.9	47.7
Korhogo	50.1	70.6	39.1	65.6	67.7	49.6	61.2	58.1	NA	40.4	58.8	54.7	34.0	70.5
Man	53.9	61.1	45.8	46.1	55.7	49.4	55.9	50.2	40.4	NA	56.9	49.9	35.5	55.9
Odienné	48.5	57.6	43.9	51.0	54.7	47.2	50.1	48.9	58.8	56.9	NA	52.6	39.2	50.5
San-Pédro	51.1	56.9	50.1	52.6	58.6	58.5	50.7	49.1	54.7	49.9	52.6	NA	59.4	48.9
Séguéla	49.1	62.2	40.3	43.2	57.1	61.0	51.7	50.9	34.0	35.5	39.2	59.4	NA	51.6
Yamoussoukro	51.6	76.9	44.1	67.2	65.9	65.6	54.2	47.7	70.5	55.9	50.5	48.9	51.6	NA
moyenne	50.5	60.1	45.5	51.9	55.7	54.7	52.8	51.4	54.0	50.2	50.6	53.1	48.4	56.9



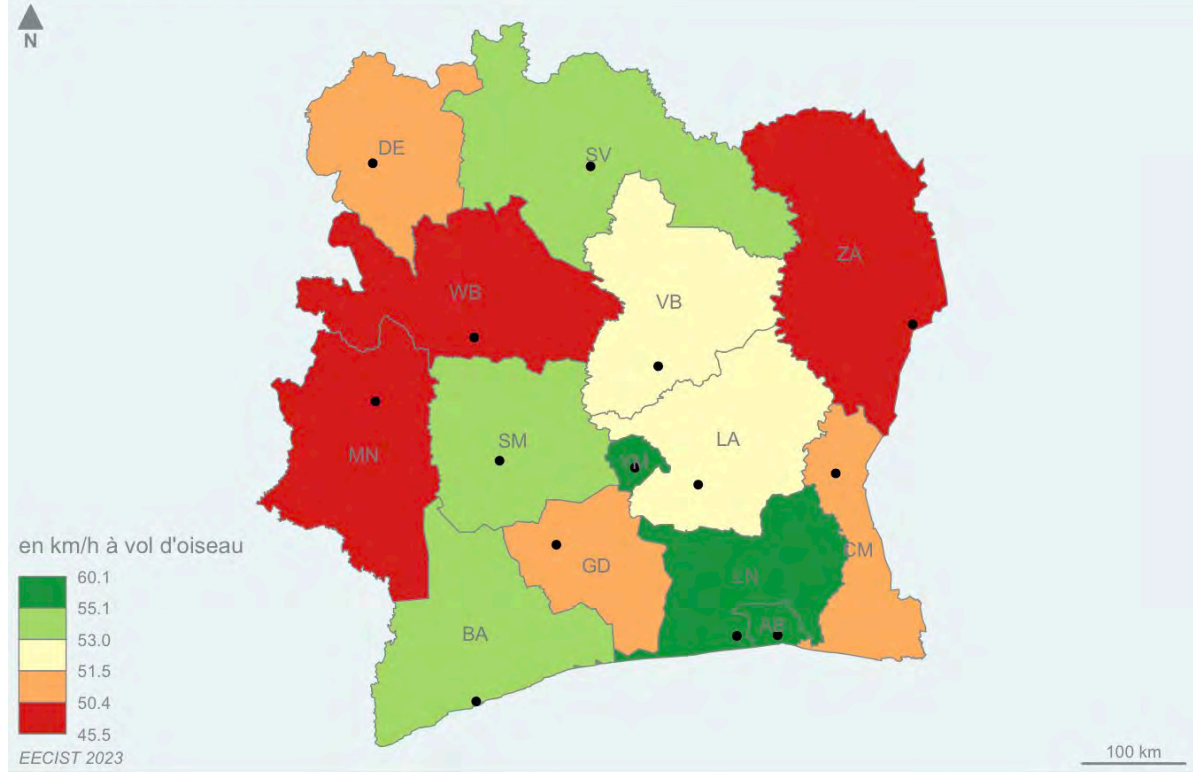
Eij = 202 km
Rij = 294 km
Tij = 358 minutes
 | sinuosité = **1.46**
 | vitesse = **49.5 km/h**
 | efficacité = **34.0 km/h**

Cartographie des inégalités d'accessibilité routière des districts de Côte d'Ivoire en 2023

Accessibilité moyenne



Qualité du réseau routier



**APPLICATION n°2 : CALCUL DE MATRICES DE DISTANCE ET D'INDICATEURS
D'ACCESSIBILITE PAR PAYS AVEC OSRM**

