

**MODÉLISATION DE LA PREVISION DE LA DEMANDE DE
TRANSPORT URBAIN**

Cas de la ville d'Oujda (Maroc)

MODELING OF URBAN TRANSPORT DEMAND FORECAST

Case of Oujda city (Morocco)

نمذجة استشراف الطلب على النقل الحضري
حالة مدينة وجدة (المغرب)

MOHAMMED ASSIOUI

Professeur chercheur

ENS Tetouan

Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan

assioui.mohammed@uae.ac.ma / ass20med@gmail.com

ABDELHAK ESSADDEK

Professeur de l'enseignement supérieur

FLSH Oujda

Université Mohammed Premier d'Oujda

essaddek1@yahoo.fr

Résumé

Il existe une forte nécessité de disposer dès aujourd'hui des données qui permettent d'anticiper et de préparer au mieux l'avenir. Les transports n'échappent pas à la règle. Disposer, par exemple, d'ordre de grandeurs sur la mobilité urbaine des personnes fournit des éléments pour comprendre à quoi la ville de demain pourra ressembler. Le présent article présentera les perspectives de croissance de la mobilité de la ville d'Oujda à travers l'estimation de sa demande de transport. Cette estimation fournit l'occasion d'appliquer le modèle d'estimation de la demande que nous proposons.

Mots clés : transport urbain, demande, prévision, modélisation.

Abstract

There is a strong need today to have data that allows us to anticipate and better prepare for the future. Transportation is no exception. Having, for example, orders of magnitude on the urban mobility of people provides elements for understanding what the city of tomorrow will look like. This article will present the prospects for growth in mobility in the city of Oujda through the estimation of its transport demand. This estimation provides the opportunity to apply the demand estimation model that we propose.

Keywords: urban transport, demand, forecasting, modelling.

المخلص

بفعل التطور السريع لمدننا وتنوع حاجيات سكانها في الزمان والمكان، أضحت هناك حاجة ماسة لبيانات تتيح لنا استشراف المستقبل والاستعداد له بشكل أفضل. وفي هذا السياق لا يشكل تنقل الأفراد حالة خاصة. فعلى سبيل المثال، التوفر على مؤشرات حول النقل الحضري للأفراد يوفر عناصر لفهم الشكل الذي قد تبدو عليه مدينة الغد. تشكل هذه الورقة البحثية محاولة لدراسة آفاق تطور النقل بمدينة وجدة من خلال استشراف وتقدير الطلب على النقل وفرصة لتطبيق نموذجتنا لهذا التقدير المقترح.

الكلمات المفتاحية: النقل الحضري، الطلب، تقدير، استشراف، نمذجة،

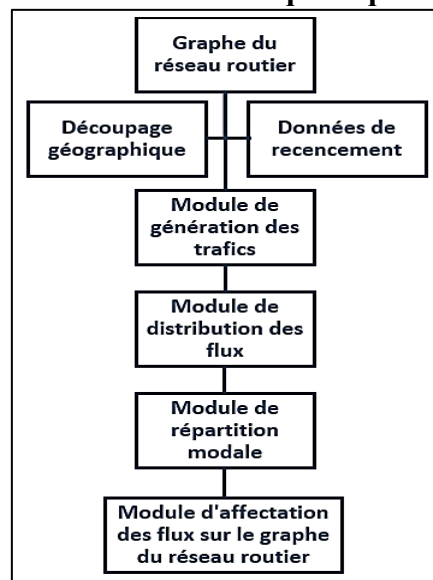
1.Introduction : une revue de la littérature sur l'estimation de la demande

La littérature sur l'estimation de la demande de transport urbain est abondante, mais deux méthodes sont couramment utilisées : la méthode classique (ou modèle à quatre étapes) et la méthode basée sur les variables explicatives de la demande de transport (Souche, S.2009 : pp761-762). Le présent article se basera sur la première méthode : le modèle classique.

Mise au point pendant les années 1960 aux Etats-Unis, le « modèle classique à quatre étapes » peut être vu comme l'aboutissement remarquable d'un lent processus de maturation, initié par les premières études de comptages menées dès 1920 dans ce pays¹. Ce modèle a connu son apogée pendant les années 1960, « époque des certitudes » (MERLIN P. 1984 : p175).

La « méthode classique » a été mise au point, dans ses grandes lignes, entre 1960 et 1965. C'est à cette époque que l'on a mis au point : les grands modèles de distribution géographique (gravitaires, opportunités) ; les principales méthodes d'analyse du choix modal ; les concepts de coût généralisé d'un déplacement (Masson, S. 2000 : p20).

Figure 1 : Le modèle classique à quatre étapes



Source : d'après Ortuzar et Willumsen 2011, p21 (source traduite par Banos)

¹ DUPUY présente, dans son ouvrage « Une technique de planification au service de l'automobile : les modèles de trafic urbain », une revue de littérature de la naissance à la maturation des modèles de trafic. Source complète : DUPUY G.1975. Une technique de planification au service de l'automobile : les modèles de trafic urbain, Document de Travail « Action concertée de recherches urbaines », Paris.

La figure 1 décrit l'ossature générale de ce modèle « universel », que l'on peut qualifier de global, agrégé, séquentiel, unidirectionnel et multimodal (Banos A. 2001 : p87).

Outil de planification, le modèle classique a rapidement été affecté à deux missions fondamentales, aujourd'hui encore très prégnantes. La première d'entre elles relève de l'expérimentation : une fois le modèle calibré, l'analyste peut tester la sensibilité de la demande à certains paramètres sous contrôle (par exemple le prix ou le temps de parcours). La seconde mission relève davantage de la prospective et vise à éclairer l'analyste sur les possibles impacts liés à l'introduction d'une offre nouvelle (BANOS, A. 2001 : p87).

Trop onéreux à appliquer dans le cadre d'études courantes et bien trop agrégé pour des études précises, le modèle classique a été abondamment critiqué, « *...en général par ceux qui n'avaient pas participé à sa mise au point, sans qu'ils soient capables de mettre au point une méthode alternative crédible...* » (MERLIN, P. 1991 : p325).

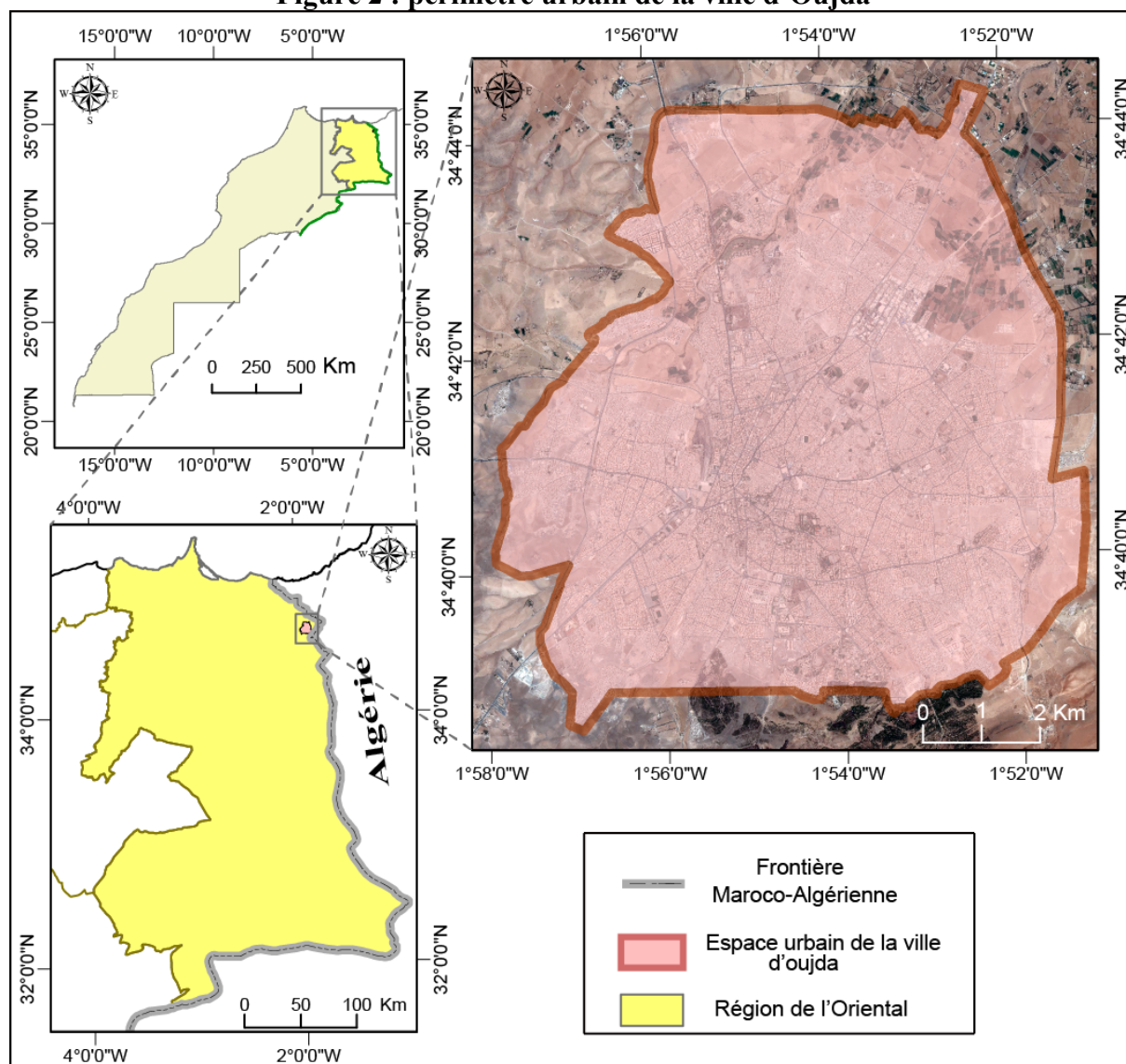
Tout en se basant sur le modèle classique, nous allons essayer de construire un modèle de la demande de transport qui s'appuie sur différents facteurs structurels. Nous appliquons, ensuite, ce modèle au cas de la ville d'Oujda, pour laquelle nous allons construire un scénario d'évolution de la demande de transport à horizon **2030**.

2. Zone d'étude

La zone de l'étude est l'espace urbain de la ville d'Oujda (figure 2). Oujda, cité millénaire, fondée par **Ziri Ibn Attaya le Maghraoui** en l'an 384 de l'Hégire (994) (RETNANI, 2007 :17-18). Selon le dernier recensement général de la population et de l'habitat (en 2014), la population urbaine de la ville d'Oujda est de 494 252 habitants, avec un taux d'accroissement moyen annuel de 1,2% (HCP,2017).

Sur le plan administratif, la ville d'Oujda est à la fois la capitale de la région de l'Oriental et le chef-lieu de la province d'Oujda-Angad.

Figure 2 : périmètre urbain de la ville d'Oujda



Source : découpage administratif et images Yandex

Réalisation : les auteurs

3. Données sources

La prévision de la demande de transport exige une modélisation spécifique de données qui caractérise les facteurs structurels de mobilité (Souche, 2009 :760). Parmi les premiers facteurs identifiés est la quantité de voitures particulières (BUTTON et al.,1993 : pp 51-67 ; MOGDRIDGE, M., 1967 :55-74 ; MOGDRIDGE, 1989 :55-74 ; ORTURZAR et WILLUMSEN, 2006) ou de transports en commun (BRESSON et al., 2003 :605-627 ; BRESSON et al. 2004 :269-285). Mais on retrouve aussi d'autres facteurs tels que le coût d'un déplacement, le revenu du ménage (SCHAFFER A et al. 2000 : 171-205 ; MEDLOCK., 2002 : 163-188) ou la manière dont les transports sont intégrés dans l'espace (DAVIDSON et al.,2007

: 464-488 ; GIULIANO et DARGAY.,2006 :106-124 ; KAIN J.F et FAUTH G.R.1977 :9-17 ; OUM T et al., 1992 :139-154).

Les principales données de base notre modélisation sont celles de l'Enquête des Déplacements des Ménages (EDM, Mai 2013) et celles du Recensement Générale de la population et l'Habitat (RGPH 2014), à savoir : zonage et données socio-démographiques (population par secteur et le revenu moyen par ménage pour chaque secteur, totaux des déplacements par secteur, choix modaux), ainsi que leurs estimations à l'horizon 2030 (tableaux 1 et 2).

Tableau 1 : Taux de croissance (estimés) pour les différentes variables à l'horizon 2030

Variables	Taux de croissance
Population	2.1%
Revenu moyen par ménage	1%
Prix du sol	1%

Source :RGPH 2014 et EDM 2013.

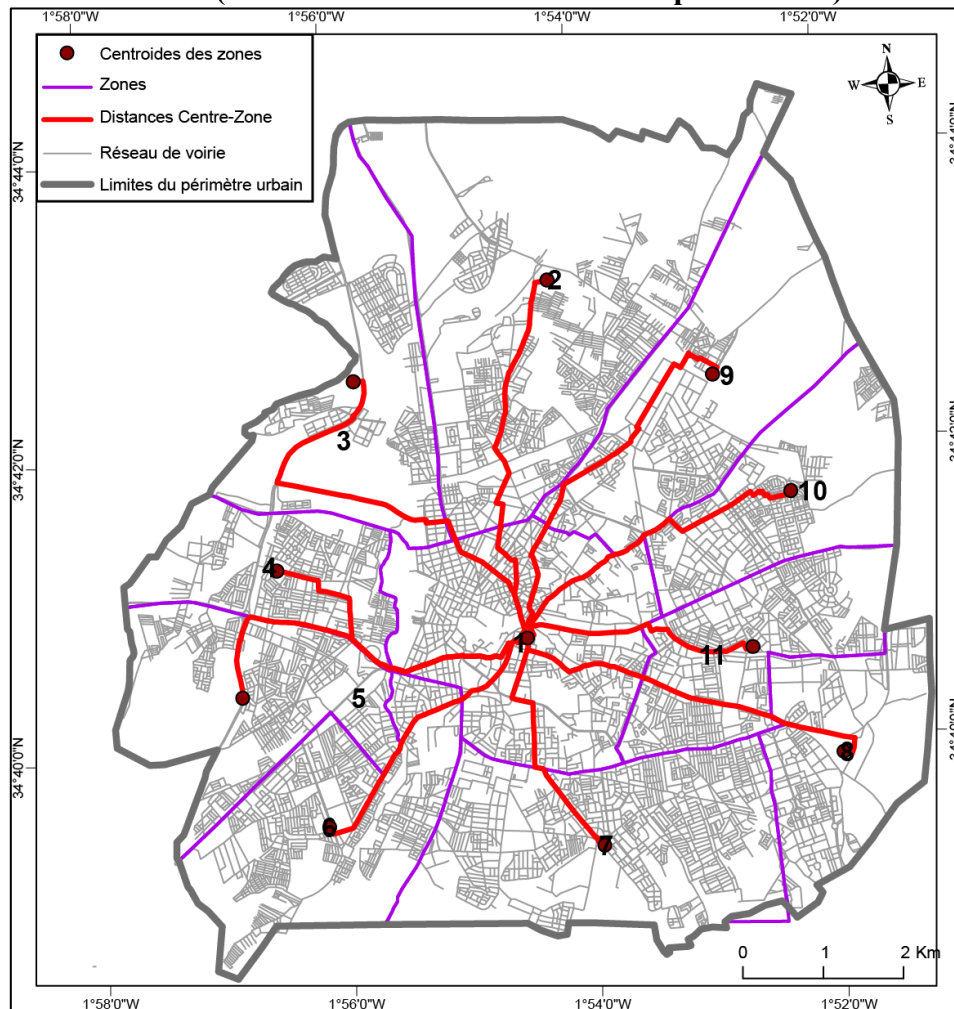
Tableau 2 : Population et revenu moyen par ménage à l'horizon 2030 pour la production des déplacements

Zones	Actuel		à l'horizon 2030	
	Population X_1	Revenu moyen par ménage X_2	Population X_1	Revenu moyen par ménage X_2
1	109 935	4 647	147 061	5342
2	84 450	3 205	112 981	3684
3	25 986	3 184	34 762	3660
4	46 744	3 229	62 530	3712
5	28 416	3 736	38 012	4294
6	57 150	3 725	76 450	4282
7	54 657	4 905	73 114	5638
8	10 912	3 530	14 598	4058
9	16 352	3 250	21 874	3736
10	33 274	3 748	44 511	4308
11	41 494	4 207	55 507	4836

Source : RGPH 2014 et EDM 2013.

A ces données s'ajoute deux autres variables indispensables à notre modélisation, à savoir : la distance du centre de chaque zone (centroïde) au centre-ville (figure 3) et le prix moyen du m² pour chaque zone.

Figure 3 : Méthode de calcul des distances entre le centre-ville et les centroïdes des zones (calcul basé sur le réseau de transport urbain)



Source : Réseau OSM

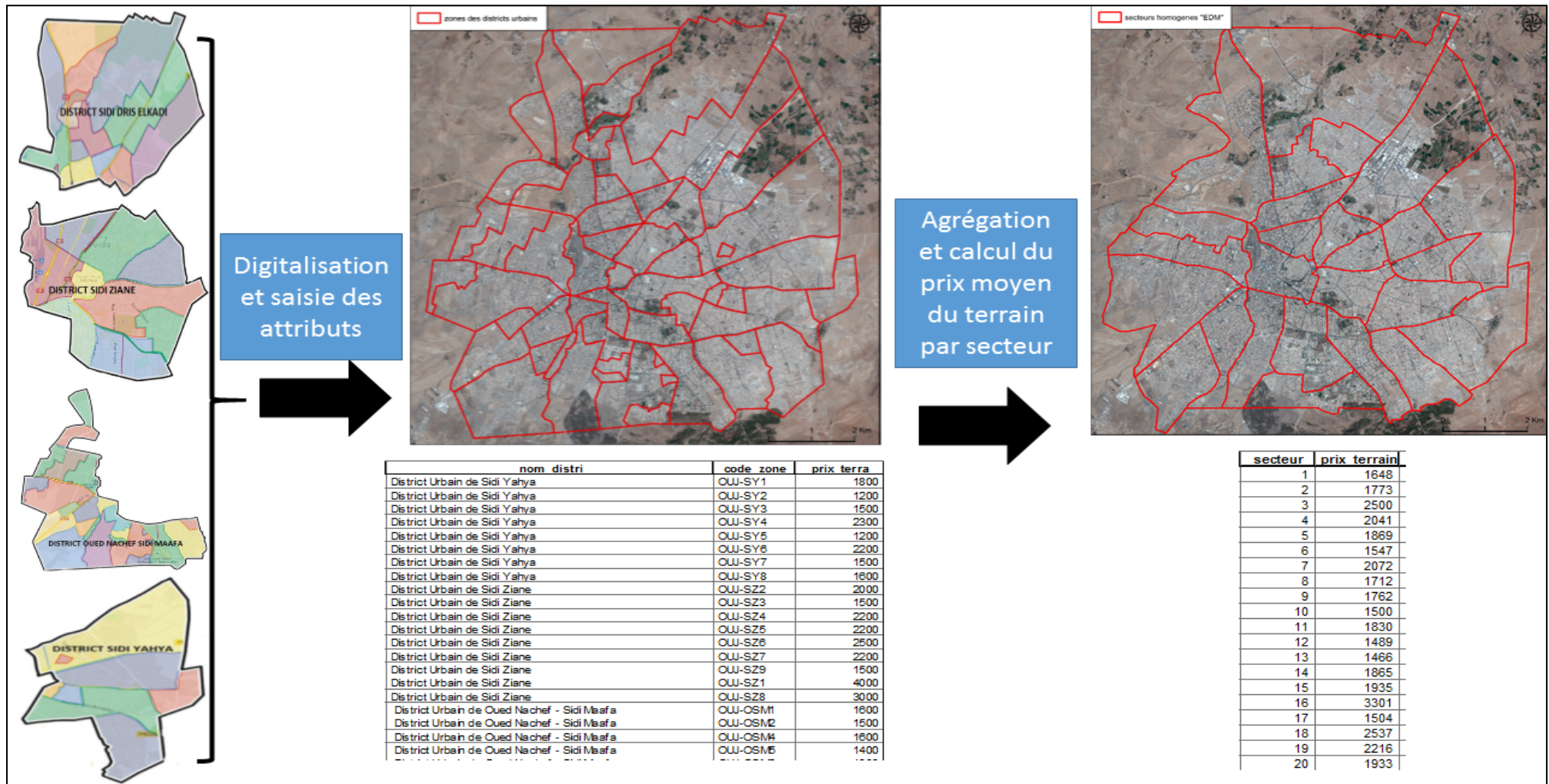
Réalisation : les auteurs

Le prix du terrain au m² pour chaque zone pose un vrai problème pour son estimation, et cela à deux niveaux. Premièrement, l'impossibilité d'avoir une liste des prix actuels des terrains pour la ville d'Oujda par zone ou quartier. Deuxièmement, dans une même zone on rencontre plusieurs types d'habitat et par conséquent différents prix des terrains.

Dans le but de surmonter le premier niveau de ce problème on a utilisé le « **Référentiel des Prix des Transactions Immobilières** » de la Direction Générale des Impôts d'Oujda (DGI.2015). Alors que pour le deuxième, on a choisi de calculer un prix moyen par zone. Afin d'obtenir ce prix moyen, un passage par des étapes intermédiaires s'impose (figure 4) :

1. Digitalisation et saisie des attributs des zones de chaque district ;
2. Agrégation des districts en secteurs homogènes adoptés en l'enquête des déplacements des ménages (EDM mai 2013) ;
3. Calcul du prix moyen du terrain par pondération à la superficie de chaque zone du référentiel.

Figure 4 : Processus du calcul du prix du terrain moyen par secteur



Source : DGI 2015 et Images Google Earth

Réalisation : les auteurs

Après cette cruciale étape, les données de base pour la modélisation de l'attraction des déplacements sont ainsi résumées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Population et revenu moyen par ménage à l'horizon 2030 pour l'attraction des déplacements

Zones	Actuel		à l'horizon 2030		Distance du centre-ville X_3 (en km)
	Population X_1	Prix du terrain X_2 (au DH/m ²)	Population X_1	Prix du terrain X_2 (au DH/m ²)	
1	109 935	2350	147 061	2895	0
2	84 450	1650	112 981	2033	5,10
3	25 986	2000	34 762	2465	6,15
4	46 744	1440	62 530	1774	4,10
5	28 416	1600	38 012	1971	4,91
6	57 150	1680	76 450	2070	3,79
7	54 657	1960	73 114	2415	3,22
8	10 912	1750	14 598	2156	4,81
9	16 352	1830	21 874	2255	5,12
10	33 274	1800	44 511	2218	4,36
11	41 494	1740	55 507	2145	3,27

Source : RGPH 2014, EDM 2013 et travail personnel des auteurs

4. Méthodologie suivie

La méthodologie suivie repose essentiellement sur le modèle classique à quatre étapes : génération, répartition, partage modal et affectation.

4.1. La génération des déplacements

La génération est la première étape du modèle à quatre étapes. Elle cherche à quantifier les déplacements réalisés par les résidents de l'aire d'étude. Plus précisément, elle vise à déterminer le nombre des déplacements sortants et entrants dans les différentes zones de l'aire étudiée. Il existe une multiplicité d'approches permettant d'obtenir les volumes de déplacements émis et attirés par chaque zone.

Il est possible de les classer de plusieurs manières. Le premier critère est le caractère agrégé ou désagrégé des modèles (ORTUZAR et al., 2011 ; BONNEL, 2004), ensuite quelle technique à retenir ? Par classification ou régression ? Dans la pratique actuelle de la modélisation, on a opté pour une modélisation agrégée basée sur les techniques de régression. Pour la production et d'attraction des déplacements (déplacements/jour), on a retenu les modèles suivants (tableau 4) :

Tableau 4 : Les modèle de production et d'attraction des déplacements retenus

$Y_{\text{production}} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2$	Avec :	X1 : Population de la zone
		X2 : Revenu Moyen par ménage de la zone (en DH)
$Y_{\text{attraction}} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$	Avec :	X1 : Population de la zone
		X2 : Prix du terrain X2 (au DH/m2)
		X3 : Distance du centre-ville (en km)

Source : Les auteurs

4.2. La répartition des déplacements

La seconde étape, la répartition des déplacements, correspond à « modèle de distribution spatiale qui affecte les déplacements entre les diverses zones [..], Il définit les volumes des déplacements par relation origine-destination, c'est-à-dire pour tout couple d'une zone d'origine i et d'une zone de destination j » (DOBIAS, 2003 :88-89).

Tableau 5 : Matrice « Origine-Destination »

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Σ O
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
Σ D												

Source : les auteurs

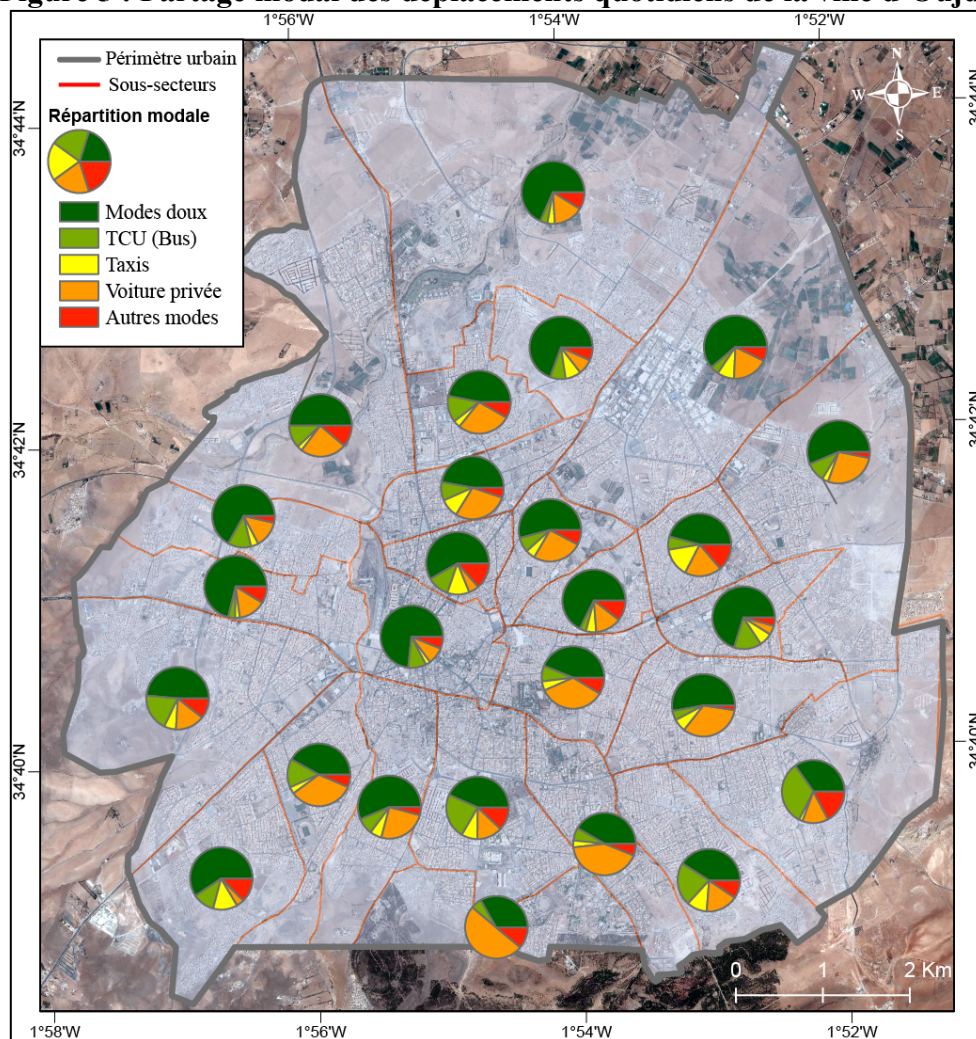
Notons qu'à cette étape, On constate que le total de l'attraction des déplacements est différent de la production des déplacements, alors qu'elles doivent être égaux. Les différentes étapes poursuivies (avec calculs et résultats) pour remédier à ce problème seront développées dans la section 5.2. *Répartition des déplacements*.

4.3 Le partage modal et affectation

Le partage modal et l'affectation des déplacements sont les étapes dans lesquelles la répartition des déplacements entre les différentes zones est répartie en fonction des modes de transport. La

base de ce partage modal/affectation est l'Enquête des Déplacements des Ménages (EDM, Mai 2013) (voir la figure 5).

Figure 5 : Partage modal des déplacements quotidiens de la ville d'Oujda



Source : EDM 2013 et images Yandex

Réalisation : les auteurs

5. Résultats et Discussion

Après avoir déterminé les données de base (inputs) nécessaire à la prévision de la demande de transport pour la ville d'Oujda et la méthodologie poursuivie pour sa modélisation, la voie étant libre maintenant la présentation des principaux résultats(outputs) qui en découlent.

5.1 Génération des déplacements

A cette première étape de modélisation, la production et l'attraction des déplacements et projetée à l'horizon 2030. Pour ce faire, les paramètres de la modélisation sont calculés en se basant sur des taux de croissance pour 2030 (voir les tableaux 1, 2 et 3).

Le modèle de régression général pour la production des déplacements s'écrit de la manière suivante :

$$Y_{\text{production}} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2$$

Le modèle généré par le logiciel SPSS reste très significatif (*pvalue* est <0,05), et le modèle arrive à prévoir $R^2=68,3\%$ des données (Tableau 5).

Tableau 5 : données récapitulatives du modèle de production des déplacements

R	R-deux	Erreur standard de l'estimation
0,827	0,683	44528,877

Source : sortie SPSS

Les paramètres de l'équation de régression pour la production des déplacements fournis par SPSS permettent de l'écrire sous la forme :

$$Y_{\text{production}} = 36274,189 + 1,967X_1 + 1,042X_2$$

Le modèle de régression général pour l'attraction des déplacements s'écrit de la manière suivante :

$$Y_{\text{attraction}} = b + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$$

Le modèle généré par le logiciel SPSS reste très significatif (*pvalue* est $p=0,001<0,05$), et le modèle arrive à prévoir $R^2=88,8\%$ des données (Tableau 6).

Tableau 6 : données récapitulatives du modèle de l'attraction des déplacements

R	R-deux	Erreur standard de l'estimation
0,942	0,888	34572,071

Source : sortie SPSS

Les paramètres de l'équation de régression pour la production des déplacements fournis par SPSS permettent de l'écrire sous la forme :

$$Y_{\text{attraction}} = 52186,596 + 2,389X_1 + 1,456X_2 - 8480,133X_3$$

En utilisant les deux équations de régression et les données relatives à l'an 2030, on peut prédire la production et l'attraction des déplacements pour chaque zone de la ville d'Oujda (Tableau 7).

Tableau 7 : Prévion de la production/ attraction des déplacements par zones pour la ville d'Oujda à l'an 2030.

Zones	PRODUCTION (Déplacements/personne/jour)	ATTRACTION (Déplacements/personne/jour)
1	331 107	407 731
2	262 345	281 810
3	108 464	86 670
4	163 138	169 386
5	115 518	104 230
6	191 112	205 700
7	185 963	203 067
8	69 217	49 411
9	83 193	64 309
10	128 316	124 780
11	150 495	160 186
Total	1 788 868	1 857 280

Source : les auteurs

La première étape du modèle arrive à sa fin avec la prévision de la production et l'attraction des déplacements pour chaque zone de la ville d'Oujda.

5.2 Répartition des déplacements

L'étape de la distribution des déplacements commence ainsi par la construction d'une matrice « **origine-destination** » pour les 11 zones (tableau 8).

Tableau 8 : Matrice « Origine-Destination »

O-D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Σ O
1												331107
2												262345
3												108464
4												163138
5												115518
6												191112
7												185963
8												69 217
9												83 193
10												128316
11												150495
ΣD	407731	281810	86670	169386	104230	205700	203067	49411	64309	124780	160186	

Source : les auteurs

On constate que le total de l'attraction des déplacements = 1 857 280 dépl/jour est supérieure à la production des déplacements= 1 788 868, alors qu'elles doivent être égaux. Pour remédier à ce problème, on part du principe que la production des déplacements est exacte et que l'attraction des déplacements de chaque zone est multipliée par un facteur d'ajustement.

$$\text{Facteur d'ajustement} = \frac{\text{Total de la production des déplacements}}{\text{Total de l'attraction des déplacements}} = 0,96$$

Ce processus génère la matrice suivante (Tableau 9) :

Tableau 9 : Matrice « Origine-Destination » ajustée

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Σ O
1												331107
2												262345
3												108464
4												163138
5												115518
6												191112
7												185963
8												69217
9												83193
10												128316
11												150495
Σ D	392712	271430	83478	163147	100391	198123	195587	47591	61940	120184	154286	

Source : les auteurs

La revue de littérature concernant la distribution des déplacements est de loin très dominée par le modèle gravitaire. Il suppose que le nombre des déplacements d'une zone i vers une zone j est directement proportionnel aux déplacements produits dans la zone i et l'attraction des déplacements de la zone j , et inversement proportionnel à un facteur de résistance (facteur d'impédance) entre les deux zones. L'impédance représente des éléments de séparation spatiale entre les deux zones ; et peut être représentée par : le temps de parcours, distance, cout ou un facteur composite (Meyer, 2016 : 222). Dans certains cas, et s'il est jugé essentiel, un facteur d'ajustement appelé aussi facteur d'ajustement socioéconomique est ajouté au facteur d'impédance.

$$T_{ij} = P_i * \frac{A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=1}^n (A_j F_{ij} K_{ij})}$$

Figure 4 : Formulation mathématique du modèle gravitaire

Source : Meyer. 2016

Avec :

- T_{ij} = nombre des déplacements de la zone i vers la zone j ;
- P_i = la production des déplacements dans la zone i ;
- A_j = l'attraction des déplacements dans la zone j ;
- F_{ij} = facteur de friction (facteur d'impédance) ;
- K_{ij} = facteur d'ajustement (optionnel et il n'est pas recommandé de l'utiliser).

Dans notre cas **Oujdi** (de la ville d'Oujda), la distribution des déplacements entre les différentes zones se fait à l'aide de données issues de l'Enquête des Déplacements des Ménages (EDM mai 2013)².

Le facteur d'impédance, utilisé dans cette recherche, s'obtient à travers plusieurs étapes. Premièrement, on part de la répartition actuelle des déplacements entre les différentes zones (tableau 10), et qui sera ensuite transformé en % en divisant le contenu chaque cellule par le total des déplacements (tableau 11).

Tableau 10: répartition actuelle des déplacements entre les différentes zones en dépl/jour

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	total
1	166723	18010	6689	6304	4245	13636	15180	2444	9005	5789	10034	258060
2	26855	139829	12038	1111	1667	1482	5556	185	7593	741	3334	200391
3	8771	10964	42169	1012	337	169	2530	1	337	1012	843	68146
4	13616	1449	1449	86912	8691	1159	2897	869	290	579	290	118200
5	16535	5867	1067	16002	117346	30937	5867	1067	2134	533	3200	200555
6	30734	2130	304	1521	17649	122326	10650	304	3043	609	1217	190487
7	20115	4949	1916	798	1756	4949	77587	4949	2714	1277	2874	123884
8	11723	2605	1	1954	1954	651	19539	17585	1	2605	3257	61876
9	10196	6745	157	1	627	941	3294	157	14431	3294	2039	41882
10	8336	1241	1064	355	177	355	1064	532	3370	50900	6030	73424
11	19437	4030	1185	237	1422	1422	4504	948	1896	8059	63998	107138
total	333040	197819	68039	116207	155873	178026	148669	29042	44814	75399	97116	1444043

Source : les auteurs

Tableau 11 : Répartition actuelle des déplacements actuels entre les différentes zones en (%)

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	total
1	11,55%	1,25%	0,46%	0,44%	0,29%	0,94%	1,05%	0,17%	0,62%	0,40%	0,69%	17,87%
2	1,86%	9,68%	0,83%	0,08%	0,12%	0,10%	0,38%	0,01%	0,53%	0,05%	0,23%	13,88%
3	0,61%	0,76%	2,92%	0,07%	0,02%	0,01%	0,18%	0,00%	0,02%	0,07%	0,06%	4,72%
4	0,94%	0,10%	0,10%	6,02%	0,60%	0,08%	0,20%	0,06%	0,02%	0,04%	0,02%	8,19%
5	1,15%	0,41%	0,07%	1,11%	8,13%	2,14%	0,41%	0,07%	0,15%	0,04%	0,22%	13,89%
6	2,13%	0,15%	0,02%	0,11%	1,22%	8,47%	0,74%	0,02%	0,21%	0,04%	0,08%	13,19%
7	1,39%	0,34%	0,13%	0,06%	0,12%	0,34%	5,37%	0,34%	0,19%	0,09%	0,20%	8,58%
8	0,81%	0,18%	0,00%	0,14%	0,14%	0,05%	1,35%	1,22%	0,00%	0,18%	0,23%	4,28%
9	0,71%	0,47%	0,01%	0,00%	0,04%	0,07%	0,23%	0,01%	1,00%	0,23%	0,14%	2,90%
10	0,58%	0,09%	0,07%	0,02%	0,01%	0,02%	0,07%	0,04%	0,23%	3,52%	0,42%	5,08%
11	1,35%	0,28%	0,08%	0,02%	0,10%	0,10%	0,31%	0,07%	0,13%	0,56%	4,43%	7,42%
total	23,06%	13,70%	4,71%	8,05%	10,79%	12,33%	10,30%	2,01%	3,10%	5,22%	6,73%	100%

Source : les auteurs

² Dans l'absence d'une enquête relative à la répartition des déplacements entre les différentes zones de la ville, on peut utiliser un facteur d'impédance (de résistance) basé sur le coût de déplacement entre deux zones (Kadiyali L. R. 2004).

Notons que R_{ij} est la part des déplacements allant de la zone i vers la zone j .

Le facteur d'impédance pour chaque coupe d'« **Origine-Destination** » noté ici F_{ij} , s'obtient par application de la formule suivante : $F_{ij}=e^{R_{ij}}$ (voir le tableau 12 pour les résultats).

Tableau 12 : Facteurs d'impédance par couple de zone « Origine-Destination »

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,1224	1,0126	1,0046	1,0044	1,0029	1,0095	1,0106	1,0017	1,0063	1,0040	1,0070
2	1,0188	1,1017	1,0084	1,0008	1,0012	1,0010	1,0039	1,0001	1,0053	1,0005	1,0023
3	1,0061	1,0076	1,0296	1,0007	1,0002	1,0001	1,0018	1,0000	1,0002	1,0007	1,0006
4	1,0095	1,0010	1,0010	1,0620	1,0060	1,0008	1,0020	1,0006	1,0002	1,0004	1,0002
5	1,0115	1,0041	1,0007	1,0111	1,0847	1,0217	1,0041	1,0007	1,0015	1,0004	1,0022
6	1,0215	1,0015	1,0002	1,0011	1,0123	1,0884	1,0074	1,0002	1,0021	1,0004	1,0008
7	1,0140	1,0034	1,0013	1,0006	1,0012	1,0034	1,0552	1,0034	1,0019	1,0009	1,0020
8	1,0082	1,0018	1,0000	1,0014	1,0014	1,0005	1,0136	1,0123	1,0000	1,0018	1,0023
9	1,0071	1,0047	1,0001	1,0000	1,0004	1,0007	1,0023	1,0001	1,0100	1,0023	1,0014
10	1,0058	1,0009	1,0007	1,0002	1,0001	1,0002	1,0007	1,0004	1,0023	1,0359	1,0042
11	1,0136	1,0028	1,0008	1,0002	1,0010	1,0010	1,0031	1,0007	1,0013	1,0056	1,0453

Source : Travail personnel

Maintenant, et après calcul des différents facteurs d'impédance entre les différentes zones, on applique notre modèle gravitaire pour la ville d'Oujda : $T_{ij}=P_i \times \frac{A_j \times F_{ij}}{\sum A_j \times F_{ij}}$

Avec :

- T_{ij} = nombre des déplacements de la zone i vers la zone j ;
- P_i = la production des déplacements dans la zone i ;
- A_j = l'attraction des déplacements dans la zone j ;
- F_{ij} = facteur de friction (facteur d'impédance) ;

Les résultats de l'application du modèle gravitaire sont récapitulés dans le tableau 13 ci-dessous.

Tableau 13 : Répartition des déplacements entre les différentes zones en 2030 après une première itération

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	total
1	78986	49250	15029	29364	18043	35840	35419	8543	11169	21623	27841	331107
2	57465	42950	12091	23451	14436	28486	28201	6837	8944	17271	22212	262345
3	23855	16513	5189	9857	6063	11963	11829	2873	3741	7261	9321	108464
4	35843	24566	7555	15666	9132	17927	17719	4305	5601	10871	13952	163138
5	25346	17389	5330	10526	6948	12915	12530	3039	3958	7671	9866	115518
6	42161	28569	8775	17164	10681	22663	20708	5003	6523	12636	16229	191112
7	40964	28017	8599	16792	10339	20450	21230	4912	6384	12374	15903	185963
8	15251	10475	3216	6293	3872	7636	7637	1856	2386	4638	5957	69217
9	18333	12641	3870	7563	4656	9190	9087	2206	2900	5584	7162	83193
10	28207	19400	5966	11654	7170	14152	13978	3400	4434	8891	11064	128316
11	33210	22710	6971	13615	8384	16547	16370	3973	5175	10084	13456	150495
Total Calculé (Acj)	399622	272481	82590	161944	99724	197770	194709	46947	61214	118904	152962	1788869
Total du Modèle (Amj)	392712	271430	83478	163147	100391	198123	195587	47591	61940	120184	154286	
(Amj) / (Acj)	385922	270383	84375	164359	101063	198477	196469	48243	62675	121477	155621	

Source : les auteurs

La comparaison du total de l'attraction des déplacements par zone (ligne bleue du tableau 13), montre qu'il est très différent du total de l'attraction des déplacements par zone calculée par le modèle de génération (ligne verte du tableau 13). Cette différence s'explique par le fait que les déplacements produits par chaque zone sont mal répartis entre les différentes zones réceptrices. Pour remédier à ce problème, on recalcule l'attraction des déplacements pour chaque zone (ligne bleue du tableau 13) suivant la formule suivante :

$$\text{Nouvelle attraction : } A'_j = Am_j \times \frac{Am_j}{Ac_j}$$

Avec :

- A'_j = Nouvelle attraction des déplacements de la zone j .
- Am_j = Attraction des déplacements issue du modèle pour la zone j .
- Ac_j = Attraction des déplacements calculée.

Après ce recalcule, on applique une deuxième fois le modèle gravitaire. Ce même procédé de calcul peut être répété plusieurs fois jusqu'à l'obtention de la bonne répartition (tableau 14).

Tableau 14 : Répartition des déplacements entre les différentes zones en 2030 après une deuxième itération (déplacements/jour)

O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	total
1	77646	49077	15195	29591	18170	35916	35591	8663	11305	21863	28091	331107
2	56472	42785	12221	23626	14533	28537	28329	6930	9050	17457	22404	262345
3	23440	16447	5245	9929	6103	11983	11881	2912	3785	7339	9400	108464
4	35219	24468	7635	15780	9192	17957	17797	4364	5667	10986	14071	163138
5	24905	17320	5387	10603	6993	12937	12585	3080	4004	7753	9950	115518
6	41430	28457	8869	17291	10751	22702	20800	5071	6600	12772	16368	191112
7	40252	27907	8690	16915	10408	20485	21324	4979	6459	12506	16039	185963
8	14986	10434	3250	6339	3898	7648	7671	1881	2414	4688	6008	69217
9	18015	12591	3911	7618	4686	9206	9127	2236	2934	5644	7223	83193
10	27716	19323	6029	11739	7217	14176	14039	3446	4486	8985	11159	128316
11	32633	22620	7045	13714	8440	16575	16442	4027	5236	10191	13571	150495
Calculé	392714	271430	83478	163147	100391	198123	195587	47591	61940	120184	154286	1788868

Source : les auteurs

5.3 le partage modal

Notre étude se limitera aux deux modes suivants : voiture privée et Transport en Commun Urbain (TCU par bus), et en se basant sur les renseignements tirés de l'enquête des déplacements des ménages (EDM mai 2013). Le partage modal entre les différentes zones est présenté dans le tableau 15 :

Tableau 15 : Répartition finale des déplacements entre les différentes zones en 2030 pour le mode : TCU (déplacements/jour)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
1	12279	5037	1889	1574	2204	10705	16372	315	3148	3463	7556	64543
2	5667	4723	1889	630	0	630	3778	0	630	0	1259	19205
3	1574	1889	630	0	0	0	1574	0	315	0	315	6297
4	1259	315	0	315	630	0	1574	0	0	630	0	4723
5	2204	0	0	945	0	315	0	0	315	0	0	3778
6	10390	945	0	315	0	8186	3463	0	315	0	315	23928
7	20150	3778	1259	630	315	2834	7871	2834	2204	945	0	42818
8	315	0	0	0	0	0	2834	0	0	0	0	3148
9	2834	315	315	0	315	315	2519	0	315	315	630	7871
10	3778	0	0	630	0	0	945	0	315	1259	630	7556
11	6927	1259	315	0	0	315	0	0	630	630	2834	12909
Total	67376	18261	6297	5037	3463	23298	40929	3148	8186	7241	13538	196776

Source : Les auteurs

Pour cartographies les flux des déplacements des 11 zones, la carte comportera 11×11=121 flèches de flux, résultat directe d'une telle représentation : une carte illisible (trop

d'informations tue l'information). La solution apportée à ce problème réside en niveau d'une agrégation des 11 zones en simplement six secteurs ($6 \times 6 = 36$ flèches de flux)(tableaux 15 et 16 et la figure 5) .

Tableau 15 : Agrégation des zones en secteurs

Zones	Secteurs homogènes
1	1
2	2
9	
10	3
11	
7	4
8	
5	5
6	
3	6
4	

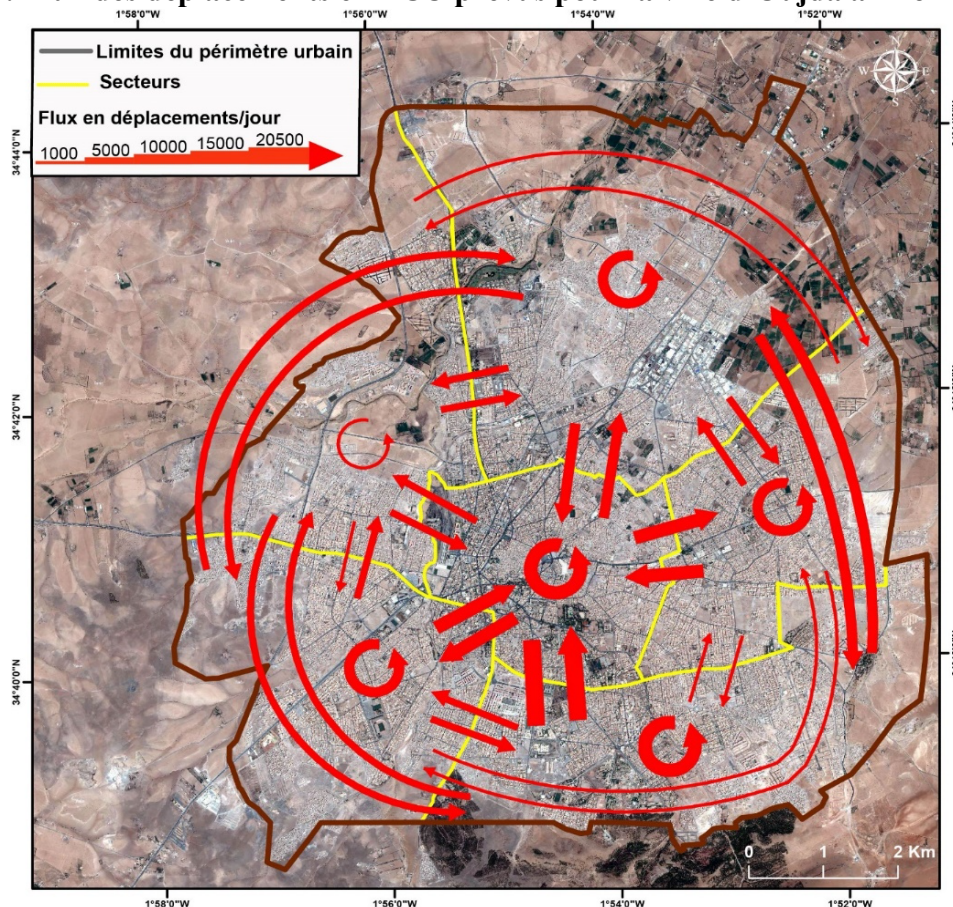
Source : les auteurs

Tableau 16 : Répartition des déplacements entre les différents secteurs en 2030 pour le mode TCU (déplacements/jour)

	1	2	3	4	5	6	Total
1	12279	8185	11019	16687	12909	3463	64542
2	8501	5983	2204	6297	1260	2834	27079
3	10705	2204	5353	945	315	945	20467
4	20465	5982	945	13539	3149	1889	45969
5	12594	1575	315	3463	8501	1260	27708
6	2833	2519	945	3148	630	945	11020
Total	67377	26448	20781	44079	26764	11336	196785

Source : les auteurs

Figure 5 : Flux des déplacements en TCU prévus pour la ville d'Oujda à l'horizon 2030.



Source : Tableau 16 et images Yandex

Réalisation : les auteurs

6. Conclusion

A côté des techniques de production des données précitées dans ce chapitre, une nouvelle question s'impose : les données permettent-elles de prévoir la future demande des déplacements pour la ville d'Oujda ? Les données collectées nous permettent de tracer un état des lieux, mais couplées ou intégrées à des modèles de prévision leur donnent une nouvelle importance, et c'est ce que nous avons pu montrer à travers le présent article.

La prévision de la demande de transport est un exercice fastidieux même au début de la réflexion sur la nature du modèle à suivre (l'existence de plusieurs modèles de prévision). Le choix du modèle classique de la prévision de la demande des déplacements tire sa justification de la nature et de la disponibilité des données en entrée du modèle. Ces dernières conditionnent fortement le choix du modélisateur, et limitent ainsi le recours à d'autres modèles, en vue d'une comparaison des résultats en sortie afin de choisir le modèle qui s'adapte le mieux à la réalité Oujdie.

7. Références bibliographiques

- BANOS, A. (2001), Le lieu, le moment, le mouvement : Pour une exploration spatio-temporelle désagrégée de la demande de transport en commun en milieu urbain. Thèse de Doctorat. Université de Franche-Comté.
- BONNEL, P. (2004), Prévoir la demande de transport. halshs-00077292, HAL.
- BRESSON, G. et al. (2003), The main determinant of the demand for public transport: a comparative analysis of England and France using shrinkage estimators. *Transportation Research Part A*, vol 37.
- BRESSON, G. et al. (2004), Economic and structural determinants of the demand for public transport: an analysis on a panel of French urban areas using shrinkage estimators. *Transportation Research Part A*, vol 38.
- BUTTON K., NGOE N., et HINE J. (1993), Modelling vehicle ownership and use in low income countries. *Journal of Transport Economics and Policy*. vol 27, n ° 1.
- DAVIDSON, W. et al. (2007), Synthesis of first practices and operational research approach in activity-based travel demand modelling. *Transportation Research Part A*, vol. 41.
- DGI. (2015), « Référentiel des Prix des Transactions Immobilières d'Oujda. Ministère de l'économie et des finances.
www.finances.gov.ma/Docs/2016/DGI/referentiel_des_prix_oujda_13_07_2015.pdf
- DOBIAS, G. (2003), Vers la voiture automate : Circulation et sécurité. Odile Jacob.
- DUPUY, G. (1975), Une technique de planification au service de l'automobile : les modèles de trafic urbain, Document de Travail « Action concertée de recherches urbaines », Paris.
- GIULIANO, G. et DARGAY, J. (2006), Car ownership, travel and land use: a comparison of the US and Great Britain. *Transportation Research Part A*, vol. 40.
- HCP. (2017), Annuaire statistique de la région de l'oriental.
- KADIYALI L, R. (2004), Traffic Engineering and Transport Planning, Delhi: Khanna Publishers.
- KAIN, J.F. et FAUTH, G.R. (1977), The effects of urban structure on automobile ownership and journey to work mode choices. *Transportation Research Record*.
- MASSON, S. (2000), Les interactions entre système de transport et système de localisation en milieu urbain et leur modélisation. Thèse de doctorat (soutenue le 15 décembre 2000) Université Lumière Lyon 2.
- MEDLOCK, K. et SOLIGO, R. (2002), Car ownership and economic development, with forecasts to year 2015. *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 36, n° 2.
- MERLIN, P. (1984). La planification des transports urbains : enjeux et méthodes, Masson, Paris.
- MERLIN, P. (1991), Géographie, économie et planification des transports, PUF. Paris.
- MEYER, M.D. (2016), Transportation Planning Handbook. ITE (Institute of Transportation Engineers). John Wiley & Sons.

- MOGDRIDGE, M. (1967), The prediction of car ownership. Journal of Transport Economics and Policy, vol.1, n° 1.
- ORTUZAR, J.D. et WILLUMSEN, L.G. (2006), Modelling transport, John Wiley and Sons, 3th edition.
- ORTUZAR J.D et WILLUMSEN L.G. (2011), Modelling transport. John Wiley and Sons, 4th edition
- OUM, T.H. et al. (1992), Concepts of price elasticities of transport demand and recent empirical estimates. Journal of Transport Economics and Policy, vol. 26, n° 2.
- RETNANI, A. (2007), Oujda porte du Maroc. Mille ans d'histoire. Editions la croisée des chemins.
- SCHAFER, A. et al. (2000), The future mobility of world population. Transportation Research Part A, vol. 34.
- SOUCHE, S. (2009), Un exemple d'estimation de la demande de transport urbain. Revue d'Économie Régionale & Urbaine. Armand Colin.