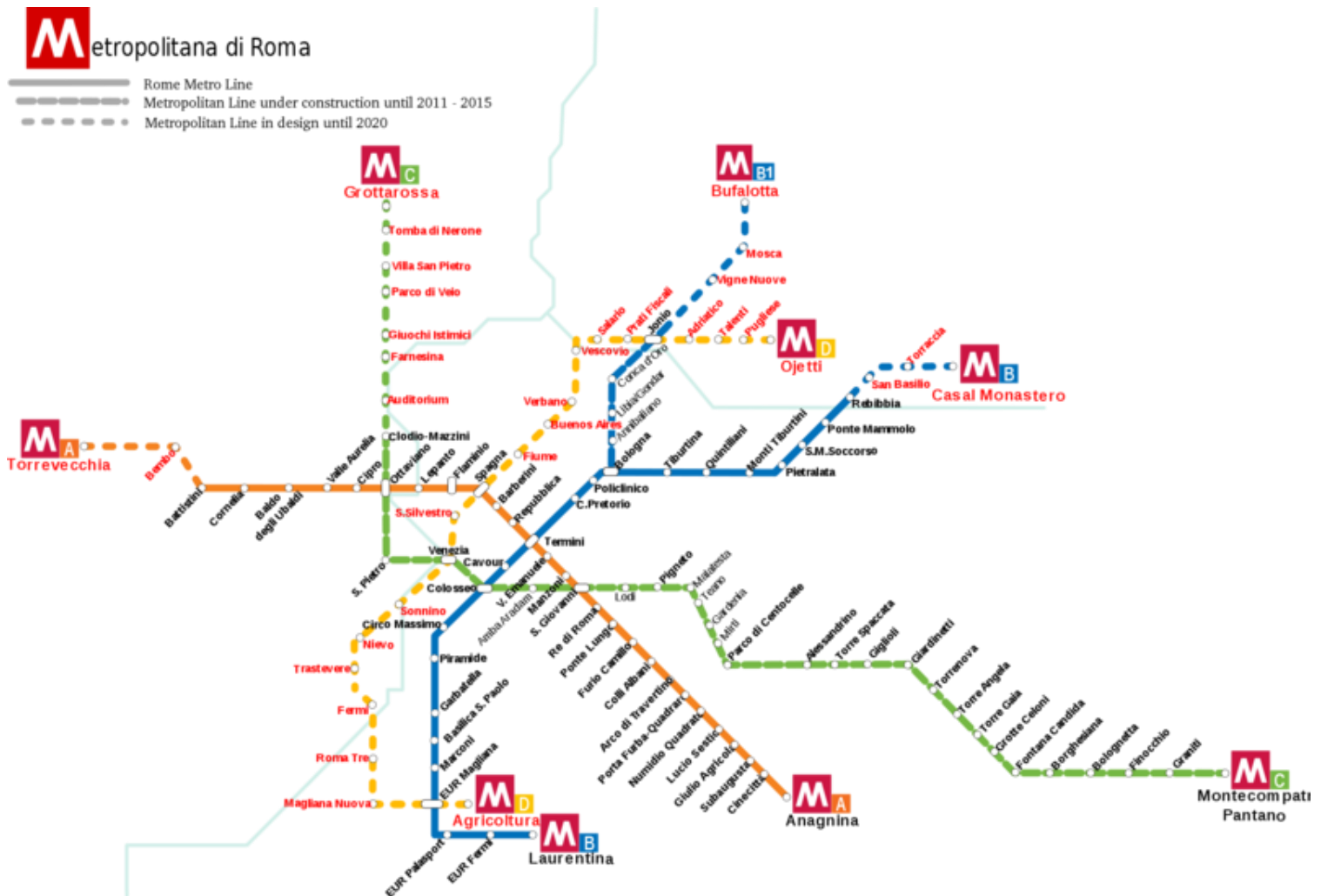


Etude technique des caractéristiques des écoulements piétons dans le métro de Rome

Maître de stage : Stefano Ricci



pour en savoir plus...
eivp-paris.fr

École des Ingénieurs
de la Ville de Paris
80, rue Rébeval – 75019 Paris
01 56 02 61 00
eivp@eivp-paris.fr



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Table des matières

| | |
|--|----|
| Résumé | 4 |
| Thésaurus | 4 |
| Abstract | 5 |
| Keywords | 5 |
| Remerciements | 6 |
| Introduction | 7 |
| I/ Présentation générale | 8 |
| A/ L'organisme d'accueil..... | 8 |
| B/ Le sujet et la mission | 8 |
| C/ Le métro romain | 12 |
| II/ Collecte et analyse des données | 14 |
| A/ Méthode..... | 14 |
| B/ Résultats | 16 |
| Graphique 1 : Nombre de personnes en fonction de la densité, sur des escaliers | 16 |
| Graphique 2 : Vitesse en fonction de la densité, <i>on plane</i> et <i>on stairs</i> | 20 |
| C/ Difficultés rencontrées..... | 26 |
| III/ Analyse des effets des attributs individuels | 28 |
| A/ Remarques générales..... | 28 |
| B/ Effets des caractéristiques des piétons dans les escaliers | 28 |
| 1/ Le genre..... | 28 |
| 2/ L'âge | 30 |
| 3/ Autres | 32 |
| C/ Effets des caractéristiques des piétons sur du plat..... | 32 |
| 1/ Le genre..... | 32 |
| 2/ L'âge | 33 |
| D/ Critiques et perspectives..... | 35 |
| Conclusion..... | 36 |
| Annexe 1 : plan de la station Anagnina (Terminus ligne A)..... | 37 |
| Annexe 2 : planning des observations..... | 38 |
| Annexe 3 : extrait des données brutes des observations, station Tiburtina, escaliers | 39 |
| Annexe 4 : relation vitesse-densité, <i>on plane</i> ou <i>on stairs</i> | 40 |
| Annexe 5 : tableau..... | 41 |
| Bibliographie | 42 |
| Liste des tableaux | 43 |
| Liste des graphiques | 44 |

Résumé

J'ai effectué mon stage étude et recherche au sein de l'université La Sapienza, à Rome dans le département des transports. Je me suis intéressée à l'étude des caractéristiques des flux piétonniers dans le métro romain.

Les passagers se déplacent en grande densité dans les gares et stations de métro, surtout pendant l'arrivée et le départ des trains. Les infrastructures des stations doivent être bien pensées et gérées pour assurer le niveau de service désiré et aussi la sécurité des voyageurs, particulièrement en cas d'urgence. Pour un fonctionnement efficace, la conception des installations pour les piétons tel que les escaliers, escalators et couloirs a ainsi besoin d'inclure le comportement des flux piétons. Une étude détaillée doit alors être faite pour comprendre les caractéristiques et le comportement des piétons sur les installations qui leurs sont dédiées.

Comme énoncé dans la littérature les caractéristiques des écoulements piétons sont influencées par nombre d'attributs des piétons tels que l'âge, le genre, les dimensions physiques, les bagages, la taille du groupe, l'activité pendant qu'ils marchent, en plus d'autres attributs comme l'espace disponible, la direction du mouvement et le planning des trains.

La présente étude se concentre sur les mouvements des piétons dans des escaliers et des zones de surfaces planes dans plusieurs stations de métro romaines. Pour illustrer le comportement et les caractéristiques des flux piétons, les données, qui ont été collectées manuellement pendant le stage, sont utilisées pour construire des relations vitesse-densité et nombre de personnes–densité pour différentes installations pour piétons.

L'analyse présentée dans cette étude peut être utilisée comme base pour comprendre la particularité des caractéristiques des écoulements piétons, et peut devenir une référence utile pour l'étude des flux piétonniers dans le contexte métropolitain italien.

Une partie de ce travail a été réalisée avec deux camarades, Naomi Albert et Elodie Solinhac. En effet, dans la pratique, la collecte des données nécessitait la présence d'au moins 3 personnes dans les stations de métro. Nous avons donc travaillé collectivement, pour pouvoir effectuer nos observations sur le terrain. Nous avons ensuite décidé de travailler et d'approfondir, chacune de notre côté, une problématique et un point de vue différents.

Cependant il est possible que nos analyses, bien qu'elles ne portent pas sur le même sujet, se recoupent. La lecture de leur rapport peut donc être très intéressante, pour comprendre comment chacune a utilisé les mêmes données recueillies.

Thésaurus

Transports – Métro – Rome – Piétons – Collecte de données – Escaliers – Plat – Flux - Analyse statistique – Vitesse – Densité – Déplacements urbains

Abstract

I did my study and research internship at La Sapienza University in Rome in the Department of Transports. I was interested in the study of the characteristics of pedestrian flows in the Roman subway.

Passengers move in high density at train and subway stations, especially during the arrival and departure of trains. The infrastructure of the stations must be well thought out and managed to ensure the desired level of service and also the safety of the passengers, especially in case of emergency. Thus, for efficient operation, the design of pedestrian facilities such as staircases, escalators and corridors needs to include the behavior of pedestrian flows. A detailed study must then be made to understand the characteristics and behavior of pedestrians on the facilities dedicated to them.

As stated in the literature, the characteristics of pedestrian flows are influenced by many pedestrian attributes such as age, gender, physical dimensions, baggage, group size, activity as they walk, in addition to other attributes such as available space, direction of movement and train scheduling.

The present study focuses on pedestrian movements in stairways and on flat surfaces at several Roman subway stations. To illustrate the behavior and characteristics of pedestrian flows, data, which were collected manually during the internship, are used to plot speed-density and number of persons-density relationships for different pedestrian facilities.

The analysis presented in this study can be used as a base to understand the characteristics of pedestrian flows, and can become a useful reference for the study of pedestrian flows in the Italian metropolitan context.

Part of this work was done with two comrades, Naomi Albert and Elodie Solinhac. Indeed, in practice, the collection of data required the presence of at least 3 persons in the metro stations. Thus we worked collectively, so we could make our field observations. Then we decided to work and to deepen, on our own side, a different problematic and a different point of view.

However, it is possible that our analyzes, although not exactly on the same subject, overlap. Reading their reports can be very interesting, to understand how each of us used the same data collected.

Keywords

Transports - Metro - Rome - Pedestrians - Data collection - Stairs - Flat - Flux - Statistical analysis - Speed – Density - Urban travel

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier l'université La Sapienza et mon maître de stage, le professeur Stefano Ricci, président de la section Enseignement de l'Ingénierie des Transports au sein du Département du Génie Civil, de la Construction et de l'Environnement, pour m'avoir permis d'effectuer mon stage à La Sapienza de Rome.

Je remercie également Monsieur Marco Antognoli, chercheur référent, qui a été mon tuteur pendant ce stage, pour m'avoir accompagnée concrètement durant ma mission, m'avoir conseillée et permis d'avancer tout au long de ce stage.

Introduction

Le stage étude et recherche est effectué à la fin de la deuxième année à l'EIVP. Sa durée est d'au moins 12 semaines et son but est de nous faire découvrir le domaine de la recherche. Il doit permettre, en intégrant le milieu professionnel public ou privé, d'approfondir un domaine technique ou bien de mettre en place un processus novateur pour l'organisme d'accueil.

Après un stage ouvrier au Golf de Bondoufle (Essonne), et un stage encadrement en tant que Responsable de Site chez Indigo (Paris), j'ai souhaité effectuer mon stage étude et recherche à l'étranger, en approfondissant le domaine des transports, qui est un domaine qui m'intéresse de plus en plus depuis mon arrivée à l'EIVP. C'est à Rome, dans le département du Génie Civil, de la Construction et de l'Environnement de l'université La Sapienza que j'ai effectué ce stage. Plus particulièrement, j'ai été accueillie au sein de la section Transports de ce département.

Durant ce stage, ma mission a été d'étudier et analyser les caractéristiques des écoulements piétons dans le métro. Dans un premier temps, il a fallu recueillir les données expérimentales dans plusieurs stations de métro romaines, pour des escaliers de différentes largeurs ainsi que sur du plat. A partir de ces observations, il s'agissait de construire des relations vitesse-densité et nombre de personnes-densité pour mieux comprendre le comportement et les caractéristiques des flux de piétons. De quelle façon évoluent les différents piétons sur des escaliers et sur des surfaces planes dans le métro romain ?

Dans ce rapport décomposé en trois parties, je rendrai compte des travaux de recherches et d'analyses que j'ai pu effectuer pendant ces trois mois de stage.

Je consacrerai une première partie à la présentation de la Sapienza et du métro romain, mais surtout du sujet de mon stage et de mes différentes missions et tâches. J'expliquerai ensuite les méthodes que j'ai suivies, les résultats obtenus et les difficultés que j'ai pu rencontrer. Enfin, j'approfondirai le travail qui m'a initialement été demandé en m'intéressant aux effets des caractéristiques individuelles des piétons sur leur vitesse de marche.

I/ Présentation générale

A/ L'organisme d'accueil

Fondée il y a plus de 700 ans, l'université de Rome « La Sapienza », dite *Sapienza Università di Roma*, est la principale université italienne et la plus grande université d'Europe. Elle se qualifie, notamment pour la qualité de la recherche et de l'enseignement ainsi que pour sa dimension internationale, comme référence pour de nombreuses disciplines.

La Sapienza prône le développement d'une société du savoir par la recherche, l'excellence, l'éducation de qualité et la coopération internationale. L'activité de recherche scientifique y couvre un large éventail de disciplines, et atteint des niveaux d'excellence dans de nombreux domaines.

La Sapienza est organisée en 11 facultés et 63 départements, ainsi que de nombreux centres de recherche et de services.¹

J'ai effectué mon stage au sein de la Faculté de Génie Civil et Industriel dans le département du Génie Civil, de la Construction et de l'Environnement (DICEA). Celui-ci a été fondé en 2010 suite à une fusion des départements de l'Architecture et de l'Urbanisme, de l'Hydraulique, et des Transports et des Routes. Conformément à la tradition, le DICEA assure l'excellence scientifique et une éducation de qualité dans tous les domaines de la conception architecturale et de l'urbanisme, et de l'ingénierie civile et environnementale.¹

B/ Le sujet et la mission

Le système de transport en commun ferroviaire joue un rôle majeur dans la mobilité urbaine, tout particulièrement dans les villes métropolitaines. Une grande capacité de transport, une faible pollution, ou encore une faible consommation d'énergie sont des avantages d'un tel système, exigences essentielles du transport durable, en particulier pour les villes de taille métropolitaine.

À l'instar du trafic routier, l'hétérogénéité dans le comportement des piétons joue un rôle essentiel dans les caractéristiques de leur mouvement. Dans une station de métro, les escaliers ainsi que les couloirs sont des installations piétonnes qui sont au cœur des échanges et des croisements de flux. La conception de ces éléments essentiels devrait intégrer les caractéristiques des flux de piétons pour assurer le niveau de service souhaité ainsi que la sécurité, surtout en cas d'urgence. Une étude approfondie doit être faite pour évaluer et comprendre le comportement des mouvements piétonniers sur ces installations.

Comme indiqué dans la littérature, la vitesse de marche des piétons est souvent déterminée par la densité et est significativement influencée par l'arrivée des trains. Un nombre d'attributs physiologiques, psychologiques et environnementaux ont également une contribution importante dans les mouvements de flux piétons. Ces facteurs incluent notamment l'âge, le genre, le transport de bagages, la praticabilité d'un équipement (Rahman

¹ <https://www.dicea.uniroma1.it/en>

et al., 2013) ou encore l'heure de la journée (Hoel, 1968)². Fruin (1987), Tanaboriboon (1991), Lam et al. (1995), Fujiyama et Tyler (2004) ou encore Lee (2005) sont des chercheurs qui se sont intéressés à la vitesse moyenne de marche sur des escaliers pour différents piétons en considérant certains de ces facteurs : l'âge, le genre, la direction du flux et les dimensions de l'escalier.³ Selon Older (1968), le facteur le plus important qui détermine le mouvement piéton est la présence ou non d'autres piétons.²

Les caractéristiques des écoulements piétons dans des stations ont été beaucoup étudiées au niveau microscopique et macroscopique dans le but d'optimiser l'utilisation des installations piétonnes. L'étude microscopique considère des caractéristiques individuelles comme la vitesse individuelle (Teknomo, 2002) alors que l'étude macroscopique considère le mouvement global de tous les piétons. Les études macroscopiques ont identifié la vitesse, le débit et la densité comme étant 3 variables importantes qui pourraient décrire les caractéristiques des écoulements piétons sur les installations qui leurs sont dédiées. Daly et al. (1991), Ando et al. (1998), Zheng et al. (2008) se sont intéressés à la relation entre vitesse et densité des piétons sur des surfaces planes et sur des escaliers montants et descendants dans des stations de métro.⁴ Khisty (1985), Tanaboriboon et al. (1986), Lam et al. (1995), Smith (1995), Sarkar and Janardhan (1997), Liu et al. (2008), Laxman et al. (2010) ont tous mené des études, dans différents pays, pour évaluer les caractéristiques des écoulements piétons, et une variété de modèles ont été développés afin de déterminer la relation entre la vitesse et la densité pour différents équipements piétons.

Une grande partie de ce type d'études (Lam et al. 1995, Laxman et al. 2010, Navin et Wheeler 1969, Older 1968, Polus et al. 1983, Sarkar et Janardhan 2001, Tanaboriboon et al. 1986) suggère une relation linéaire alors que d'autres suggèrent une relation non linéaire ou encore les deux (Chen et al. 2010, Smith 1995). Des relations paraboliques de densité-vitesse et densité-débit ont également été établies.²

Sur des surfaces plates, les vitesses de marche trouvées dans la littérature varient entre 1,23 m/s et 1,50 m/s. Ces vitesses varient entre 1,23 m/s et 1,39 m/s dans les pays asiatiques (Tanaboriboon et al. 1986, Lam and Cheung 2000, Hongfei et al. 2009, Kotkar et al. 2010) ; entre 1,31 et 1,50 m/s dans les pays européens (Oeding 1963, Older 1968) ; et entre 1,31 et 1,37 m/s aux Etats-Unis (Navin et Wheeler 1969, Fruin 1971). La vitesse moyenne de marche est plus basse dans les pays asiatiques et plus haute dans les pays européens, ce qui indique qu'il existe un effet culturel sur la vitesse. La vitesse moyenne de marche des piétons sur du plat serait de 1,41 m/s dans les pays européens, 1,35 m/s aux Etats-Unis et 1,24 m/s en Asie.⁵

Lee (2005) affirme que la vitesse libre est plus grande sur des escaliers descendants (46,26 m/min) que sur des escaliers montants (40,8 m/min). Tang et Liu (2009) assurent eux que la vitesse libre des piétons est de 49,2 m/min pour une densité de 0,5 p/m² sur des escaliers montants, et de 0,4 p/m² pour des escaliers descendants. Yang (2010) soutient qu'il existe un seuil d'espace disponible par piéton (1,73 m² pour les escaliers montants et 1,95 m² pour les escaliers descendants) à partir duquel les piétons sont capables de marcher librement et

² SHAH Jiten et al. *Analysis of commuter flow behaviour on stairways at metropolitan transit station in Mumbai, India*. International Journal for Traffic & Transport Engineering, Vol. 5 Issue 4, 2015, p. 451-457

³ SHAH Jiten et al. *Behavioral characteristics of pedestrian flow on stairway at railway station*. Procedia – Social and Behavioral Sciences, Vol. 104, 2013, p. 688-697

⁴ ATRA Monalisa et al. *Evaluation of pedestrian flow characteristics across different facilities inside a railway station*. Transportation research Procedia, Vol. 25, 2017, p. 4763-4770

⁵ RASTOGI Rajat et al. *Pedestrian flow characteristics for different pedestrian facilities and situations*. European Transport, Issue 53, 2013, Paper 6

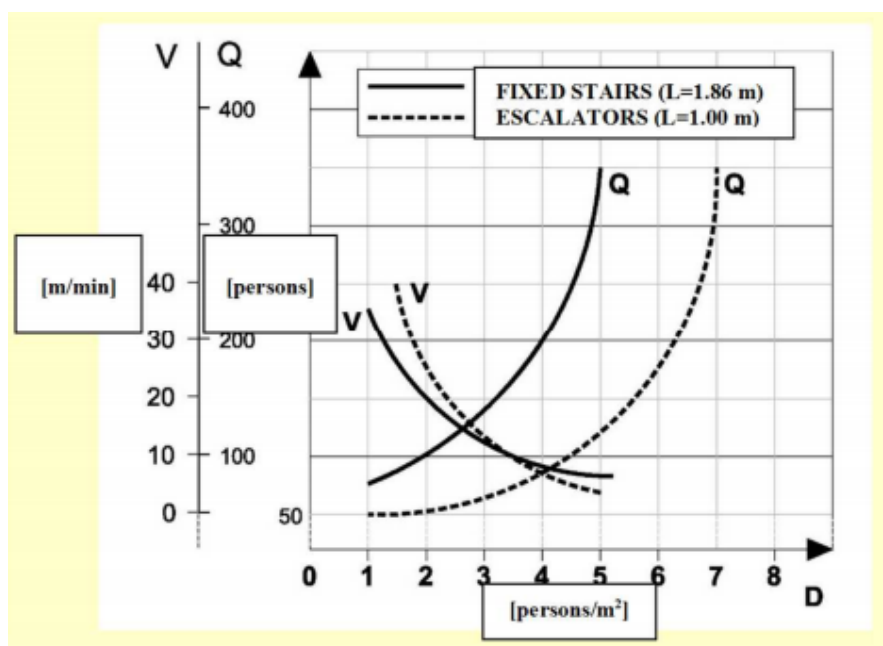
d'expérimenter le plus haut niveau de service de l'équipement sur lequel ils sont. Le plus bas niveau de service est lui atteint lorsque le débit atteint son maximum, et l'espace disponible son minimum.³

La présente étude a été réalisée au niveau macroscopique pour étudier et analyser les caractéristiques des écoulements piétons sur des escaliers ainsi que sur des surfaces planes (couloirs ou quais) dans plusieurs stations de métro romaines. Les résultats se traduisent notamment par la modélisation des relations vitesse-densité et nombre de personnes-densité. Ils peuvent, par le biais d'un aperçu du comportement des piétons, être utiles dans la planification et la conception d'installations piétonnes efficaces et sûres dans les stations de transport urbain. Les résultats peuvent être appliqués à d'autres villes européennes présentant des caractéristiques piétonnes similaires.

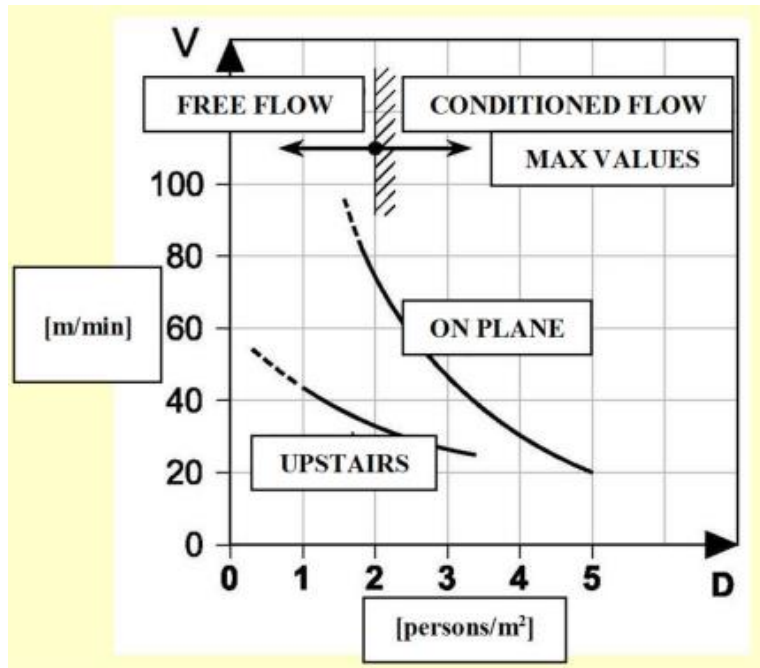
Durant ce stage dont le thème général était « les flux piétonniers dans le métro romain », la mission qui m'a été demandée était de construire, sur la base de mesures expérimentales à réaliser, les graphiques 1, 2 et 3 ci-dessous.

Les résultats attendus étaient d'obtenir des graphiques expérimentaux semblables aux théoriques.

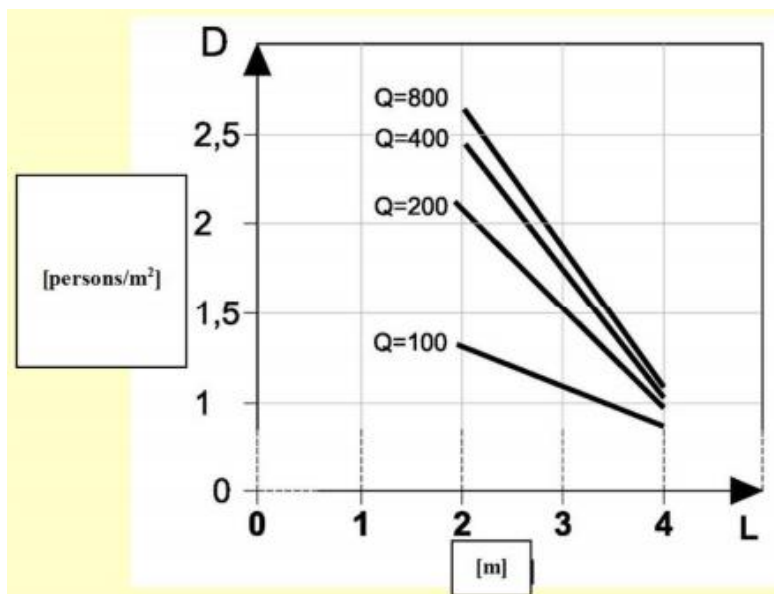
Cette mission m'a été confiée par le Professeur Stefano Ricci afin d'avoir des données expérimentales récentes, et les résultats seront potentiellement utilisés par des étudiants de l'université réalisant des thèses ou des recherches sur le sujet.



Graphique 1 : vitesse et nombre de piétons en fonction de la densité, sur des escaliers
- seul le cas des escaliers était à étudier -



Graphique 2 : vitesse des piétons en fonction de la densité, sur du plat et des escaliers



Graphique 3 : densité des piétons en fonction de la largeur d'escaliers

Dans un premier temps, après avoir rencontré notre maître de stage et notre tuteur, il nous a fallu réfléchir à comment obtenir les graphiques précédents. Nous avons donc élaboré des protocoles, qui ont d'ailleurs été améliorés au fur et à mesure sur le terrain, pour obtenir la vitesse, la densité et le nombre de personnes empruntant un escalier ou un couloir.

Nous nous sommes ensuite déplacées dans chacune des stations à étudier afin de faire un premier repérage. Pour faciliter la collecte des données nous avons observé chacune des stations : le nombre d'entrées et de sorties, le nombre d'escaliers, la présence d'escalators ... Nous avons à chaque fois essayé de trouver l'endroit idéal – bien souvent le plus fréquenté - où nous pourrions effectuer nos mesures sans gêner les flux. Nous avons alors réalisé les plans de chaque station, pour une meilleure visualisation. Le plan de la station Anagnina est disponible en annexe 1.

Par la suite, nous avons pu commencer nos mesures. Au début, notre tuteur nous avait recommandé de les effectuer le matin pendant l'heure de pointe entre 8h et 10h. Cependant nous nous sommes aperçues que dans presque toutes les stations il y avait beaucoup de personnes prenant le métro, mais peu qui en sortaient car la plupart des stations étudiées n'étaient pas dans le centre de Rome. Or les personnes entrantes n'arrivent pas toutes en même temps sur le quai et nous nous sommes donc à chaque fois intéressées aux personnes sortant d'un métro pour pouvoir mesurer un flux de personnes, plus ou moins dense et rapide. Nous avons alors souvent réalisé nos mesures pendant l'heure de pointe du soir entre 17h et 19h30. Notre calendrier de réalisation des observations est disponible en annexe 2.

En parallèle de ces observations, j'ai réalisé un travail de recherche pour m'aider à mieux comprendre le sujet et pour me guider dans ma propre étude. Ce travail m'a poussée à noter, à partir de la moitié de notre travail d'observations, des caractéristiques individuelles des piétons telles que l'âge ou le genre, en plus des données demandées.

La dernière partie a été d'exploiter et d'analyser les données recueillies, chacune de notre côté.

Dans ce rapport j'ai choisi de présenter la réalisation et l'étude des graphiques 1 et 2. Le dernier graphique a également été réalisé (par l'une de mes camarade) mais assez difficilement et n'était pas concluant car nous n'avons pas assez de données sur des escaliers de largeurs différentes.

C/ Le métro romain

Le métro romain est géré par la société ATAC, contrôlée par la municipalité de Rome. Le réseau a ouvert en 1955 et est actuellement composé de trois lignes : la ligne A, la ligne B et une partie de la ligne C. La ligne C est une ligne automatique qui a ouvert en 2014 et qui est toujours en prolongement. La ligne B est également en prolongement et une ligne D est en projet.

Les lignes A et B se croisent à la station TERMINI qui est la plus grande station de la ville. Elle permet en effet de rejoindre les deux aéroports mais aussi la plupart des villes d'Italie grâce aux nombreux trains et bus qui la desservent.

La ligne C n'a encore aucune correspondance avec les deux autres lignes mais deux correspondances avec la ligne A (stations OTTAVIANO et SAN GIOVANNI) et une avec la ligne B (station COLOSSEO) sont prévues.

Les lignes A et B sont très empruntées aussi bien par les romains que par les touristes car elles desservent le centre de la ville, avec ses grands sites touristiques tels que le Vatican, le Colisée, ou encore la Fontaine de Trévi, mais aussi parce qu'elles permettent de rejoindre les trois principales gares de Rome que sont les stations TERMINI, TIBURTINA et OSTIENSE (correspondance avec la station de métro PIRAMIDE).

La ligne C est beaucoup moins fréquentée puisqu'elle n'est pas encore connectée au centre-ville et dessert des quartiers excentrés et peu touristiques. La ligne est toutefois utilisée par les habitants des quartiers desservis ou vivants assez loin du cœur de Rome. Cependant, les stations ne sont desservies qu'environ toutes les 10 minutes par un métro et les passagers doivent prendre un bus en sortant du métro (à LODI) pour pouvoir rejoindre une autre ligne et continuer leur trajet. La première correspondance doit ouvrir à SAN GIOVANNI à la fin du mois d'octobre 2017.

Notre étude s'est portée sur des stations des lignes A et B qui offraient des correspondances avec d'autres lignes de trains ou de bus ; stations qui sont donc, en théorie, assez fréquentées, avec des flux de passagers réguliers. Nous avons initialement 9 stations à étudier.

II/ Collecte et analyse des données

A/ Méthode

Les stations que nous avons à étudiées sont les suivantes :

Pour la ligne A :

- Cornelia
- Valle Aurelia
- Termini
- San Giovanni
- Anagnina

Pour la ligne B :

- Laurentina
- Piramide
- Termini
- Tiburtina
- Ponte Mammolo

Notre collecte était de deux types : « *on plane* » ou « *on stairs* » ; autrement dit sur du plat ou sur des escaliers. Selon les stations il n'a pas toujours été possible de réaliser les deux types de mesures, notamment parce qu'il n'y avait pas toujours assez de monde. Le tableau 1 présente un récapitulatif de ce que nous avons pu faire.

Malheureusement nous n'avons pas pu étudier la station San Giovanni car elle a été fermée pendant l'été pour pouvoir réaliser les travaux de correspondance avec la ligne C. Nous avons pu faire des mesures uniquement sur du plat sur les stations Cornelia et Valle Aurelia, et uniquement sur des escaliers pour la station Laurentina. A Termini, nous avons effectué des mesures sur deux escaliers différents.

| Station | Escalier ascendant | Escalier descendant | Plat |
|---------------|--------------------|---------------------|------|
| Cornelia | | | x |
| Valle Aurelia | | | x |
| Anagnina | x | | x |
| Termini | | xx | x |
| Laurentina | x | | |
| Piramide | x | | x |
| Tiburtina | | x | x |
| Ponte Mammolo | | x | x |

Tableau 1 : type de collecte pour chaque station étudiée

Toutes nos observations sont faites « à la main », sans matériel si ce n'est cahiers et stylos. Pour effectuer nos mesures, nous suivions les protocoles ci-dessous.

Protocole on stairs :

Nous nous plaçons à la fin des escaliers étudiés, de façon à ne pas gêner les piétons mais à pouvoir observer l'intégralité de l'escalier. Une première personne cible un piéton lors de son arrivée dans l'escalier, et le chronomètre jusqu'à ce qu'il quitte l'installation. Une deuxième personne compte tous les piétons se trouvant devant la personne ciblée pendant sa traversée de l'escalier. La troisième personne compte et chronomètre elle, toutes les personnes prenant l'escalier.

Nous devons également compter le nombre de marches de l'escalier, leur longueur (qu'on a pris toujours égale à 30 cm), la longueur de la plateforme s'il y en a une, et mesurer la largeur de l'escalier pour connaître la distance d parcourue, et la surface s de l'installation. Nous obtenons grâce à nos mesures le temps t de la traversée, qui nous permet de calculer la

vitesse V de la personne ciblée. Nous mesurons aussi le nombre de personnes q ce qui nous permet de calculer la densité D . Nous avons également le nombre total de personnes du flux, noté Q .

On a $V=d/t$ et $D=q/s$

Protocole on plane :

Il est nécessaire de définir une zone d'étude, zone dans laquelle les piétons marchent. Il fallait donc trouver un endroit délimité comme un couloir par exemple, dans lequel tous – ou presque – les piétons passent. Nous nous plaçons alors à la fin de notre zone et la technique était assez similaire. Une première personne cible un piéton dès son arrivée dans la zone d'étude et chronomètre le temps qu'il met à la parcourir. La deuxième personne compte le nombre de piétons se trouvant devant la personne ciblée pendant la traversée de cette dernière.

Nous mesurons la longueur l et la largeur L de la zone étudiée pour connaître sa surface s . Nous obtenons, comme précédemment le temps t de la traversée, qui nous permet de calculer la vitesse V de la personne ciblée. Nous mesurons aussi le nombre de personnes q ce qui nous permet de calculer la densité D .

On a $V=l/t$ et $D=q/s$

Les tableaux 2 et 3 ci-dessous recensent les données et leurs types – mesurées ou calculées – pour les deux protocoles. Nous avons considéré que sur les escaliers, la distance d parcourue par un piéton est la somme des longueurs des marches et de la plateforme si elle existe.

| ON STAIRS | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|--------------------|---------------------|----------------------------------|-----|-----------|---------|
| Données fixes pour un escalier | | | | Données variables selon les flux | | | |
| Mesurées | | Calculées | | Mesurées | | Calculées | |
| nombre de marches | n_m | distance parcourue | $d=n_m*l_m+n_p*l_p$ | temps de parcours | t | vitesse | $V=d/t$ |
| longueur des marches | l_m | surface | $s=d*L$ | nombre de personnes | q | densité | $D=q/s$ |
| nombre de plateforme | n_p | | | nombre total de personnes | Q | | |
| longueur de plateforme | l_p | | | temps total d'un flux | T | | |
| largeur d'escalier | L | | | | | | |

Tableau 2 : données, protocole on stairs

| ON PLANE | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----|-----------|---------|----------------------------------|-----|-----------|---------|
| Données fixes pour une zone de plat | | | | Données variables selon les flux | | | |
| Mesurées | | Calculées | | Mesurées | | Calculées | |
| longueur | l | surface | $s=l*L$ | temps de parcours | t | vitesse | $V=l/t$ |
| largeur | L | | | nombre de personnes | q | densité | $D=q/s$ |
| | | | | nombre total de personnes | Q | | |

Tableau 3 : données, protocole on plane

Nous avons également pris en note certaines caractéristiques des piétons ciblés : âge, sexe et caractéristique spéciale telle que le transport de bagages, l'utilisation du téléphone ou le fait de parler avec quelqu'un. Les classifications de ses attributs sont présentées dans le tableau 4 ci-dessous.

| Attribut | Classification |
|-----------------------|------------------------------------|
| Genre | Homme |
| | Femme |
| Age | < 30 ans |
| | [30-60] ans |
| | > 60 ans |
| Autre caractéristique | Bagage |
| | Portable |
| | En groupe |
| | Personne devant la personne ciblée |
| | Particulièrement lent |
| | Particulièrement rapide |

Tableau 4 : critères de classification des caractéristiques des piétons

B/ Résultats

Graphique 1 : Nombre de personnes en fonction de la densité, sur des escaliers

Sur les 8 stations étudiées nous avons pu effectuer des mesures sur des escaliers dans 6 d'entre elles : Piramide, Tiburtina, Anagnina, Ponte Mammolo, Laurentina et Termini. A Termini nous avons fait des observations sur deux escaliers différents. Le tableau 5 regroupe les caractéristiques de chaque escalier étudié.

| Station | Largeur (m) | Nombre de marches | Profondeur des marches (m) | Nombre de plateformes | Longueur de plateforme (m) | Longueur (m) | Surface | Ascendant - Descendant |
|---------------|-------------|-------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------|---------|------------------------|
| Piramide | 2,5 | 39 | 0,3 | 2 | 1,5 | 14,7 | 36,75 | Ascendant |
| Tiburtina | 2,5 | 31 | 0,3 | 1 | 1,2 | 10,5 | 26,25 | Descendant |
| Anagnina | 3,5 | 19 | 0,3 | 1 | 1,5 | 7,2 | 25,2 | Ascendant |
| Ponte Mammolo | 2,2 | 38 | 0,3 | 1 | 1,8 | 13,2 | 29,04 | Descendant |
| Laurentina | 3 | 24 | 0,3 | 1 | 1,5 | 8,7 | 26,1 | Ascendant |
| Termini 1 | 1,5 | 14 | 0,3 | 1 | 1,3 | 5,5 | 8,25 | Descendant |
| Termini 2 | 2,8 | 19 | 0,3 | 0 | 0 | 5,7 | 15,96 | Descendant |

Tableau 5 : caractéristiques des escaliers étudiés

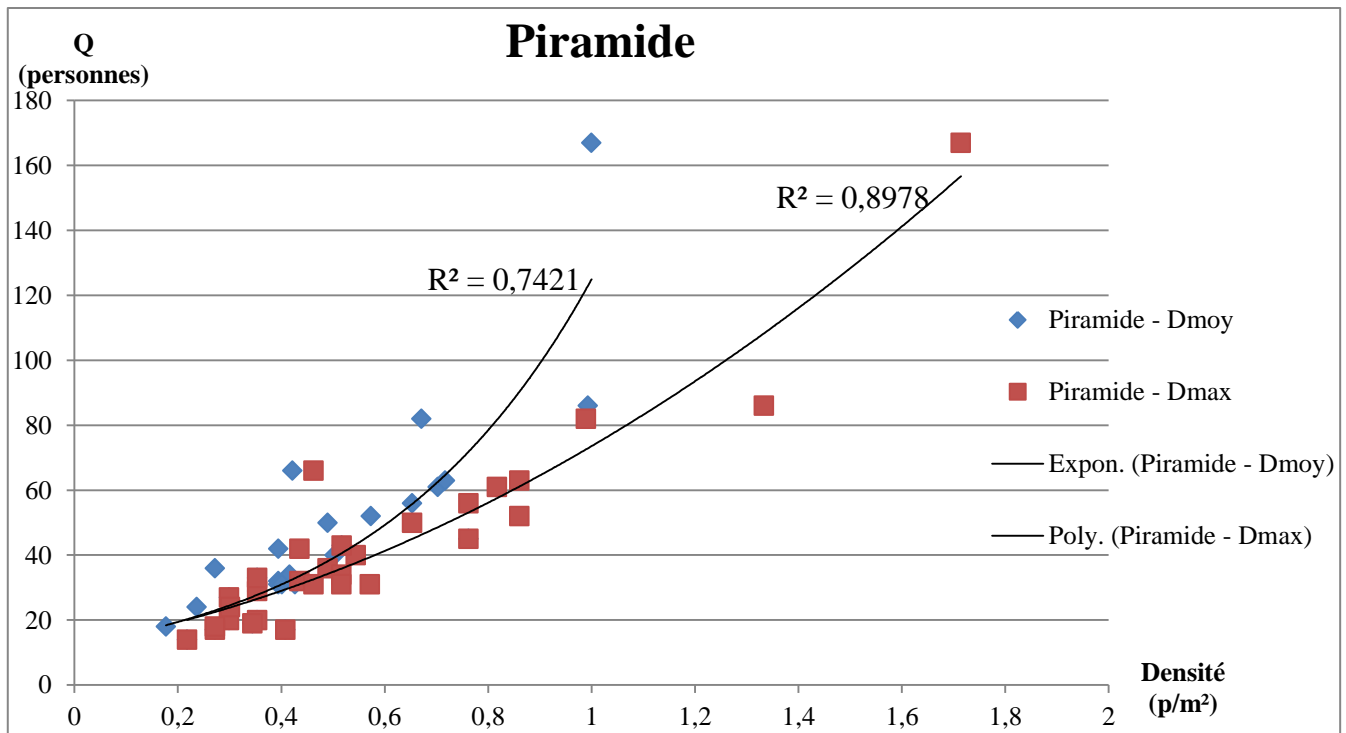
La réalisation de ce graphique n'était pas triviale. En effet il s'agit du nombre de personnes total Q d'un flux, (c'est-à-dire d'une série de personnes sortant d'un métro et

empruntant l'escalier étudié) en fonction de la densité de ce flux. Cependant, pour un même flux nous faisons plusieurs mesures, car le flux était souvent trop grand ou trop étalé pour être contenu en une fois dans l'escalier. Nous avons donc pour un même flux (pour une seule valeur Q) plusieurs valeurs de vitesse et de densité. Des extraits des données brutes de nos mesures sont disponibles en annexe 3.

Ainsi pour réaliser le graphique, et avoir une seule valeur de densité pour une valeur de Q, j'ai choisi de calculer la densité moyenne et la densité maximale de chaque flux. Un extrait des données pour la station Piramide est visible dans le tableau 6. J'ai réalisé ce travail et les graphiques correspondant pour toutes les stations. Pour chaque station, sans exception, les courbes obtenues avec les densités maximales de chaque flux sont mieux modélisables (c'est-à-dire ont un meilleur coefficient de détermination) que celles avec les densités moyennes. Le graphique 4 illustre ceci dans le cas de la station Piramide.

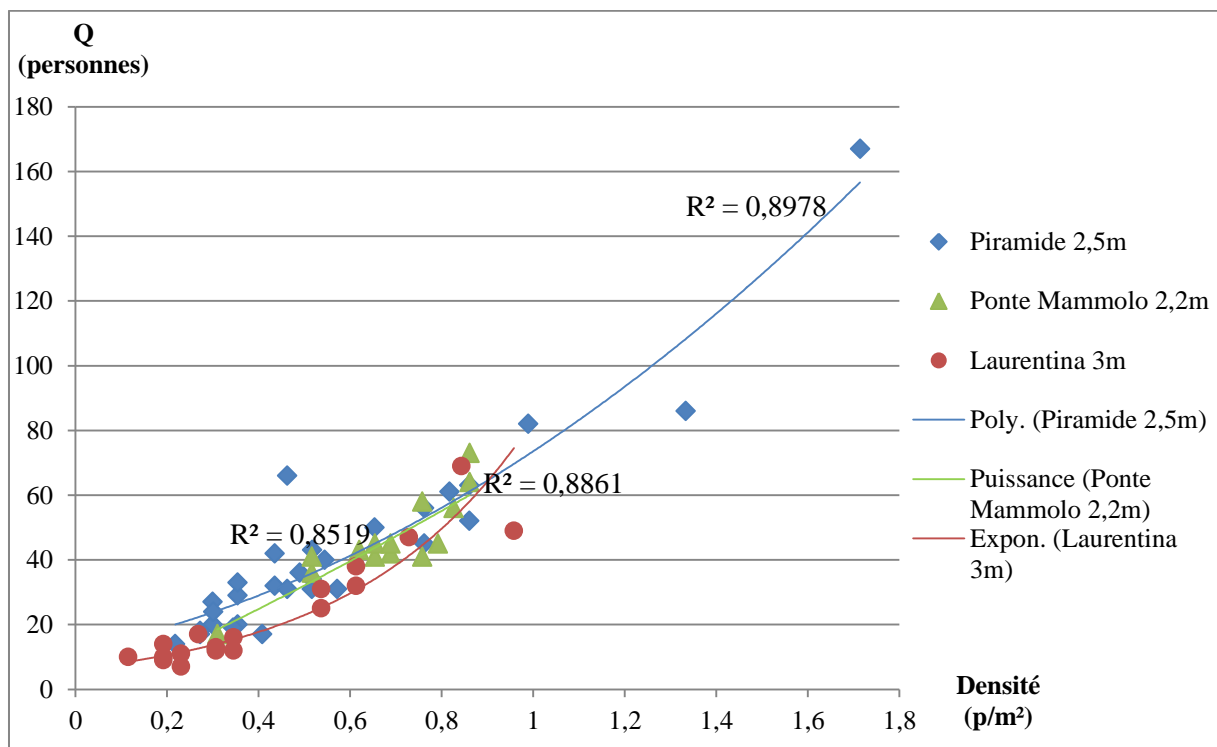
| DATE | N° de la mesure du jour | Heure | Q | Temps total (s) | Temps (s) | Nombre de personnes | Vitesse (m/min) | Densité (p/m ²) | Q | D moy | D max |
|-------|-------------------------|-------|----|-----------------|-----------|---------------------|-----------------|-----------------------------|----|------------|----------|
| 02/08 | 11 | 18h52 | 82 | 91 | 13,3 | 6 | 41,95488722 | 0,258064516 | 82 | 0,67096774 | 0,989247 |
| 02/08 | 11 | | 82 | 91 | 17 | 18 | 32,82352941 | 0,774193548 | | | |
| 02/08 | 11 | | 82 | 91 | 16,5 | 23 | 33,81818182 | 0,989247312 | | | |
| 02/08 | 11 | | 82 | 91 | 11,4 | 12 | 48,94736842 | 0,516129032 | | | |
| 02/08 | 11 | | 82 | 91 | 19,3 | 19 | 28,9119171 | 0,817204301 | | | |
| 02/08 | 12 | 19h | 63 | 77 | 18,7 | 16 | 29,83957219 | 0,688172043 | 63 | 0,71684588 | 0,860215 |
| 02/08 | 12 | | 63 | 77 | 18 | 20 | 31 | 0,860215054 | | | |
| 02/08 | 12 | | 63 | 77 | 15,4 | 14 | 36,23376623 | 0,602150538 | | | |
| 02/08 | 13 | 19h07 | 19 | 47 | 12,1 | 8 | 46,11570248 | 0,344086022 | 19 | 0,34408602 | 0,344086 |
| 02/08 | 14 | 19h12 | 24 | 62 | 14,4 | 7 | 38,75 | 0,301075269 | 24 | 0,23655914 | 0,301075 |
| 02/08 | 14 | | 24 | 62 | 15,3 | 4 | 36,47058824 | 0,172043011 | | | |
| 02/08 | 15 | 19h21 | 34 | 47 | 13,8 | 10 | 40,43478261 | 0,430107527 | 34 | 0,41577061 | 0,516129 |
| 02/08 | 15 | | 34 | 47 | 18 | 12 | 31 | 0,516129032 | | | |
| 02/08 | 15 | | 34 | 47 | 16,3 | 7 | 34,23312883 | 0,301075269 | | | |

Tableau 6 : Piramide, densité moyenne et maximale pour chaque flux

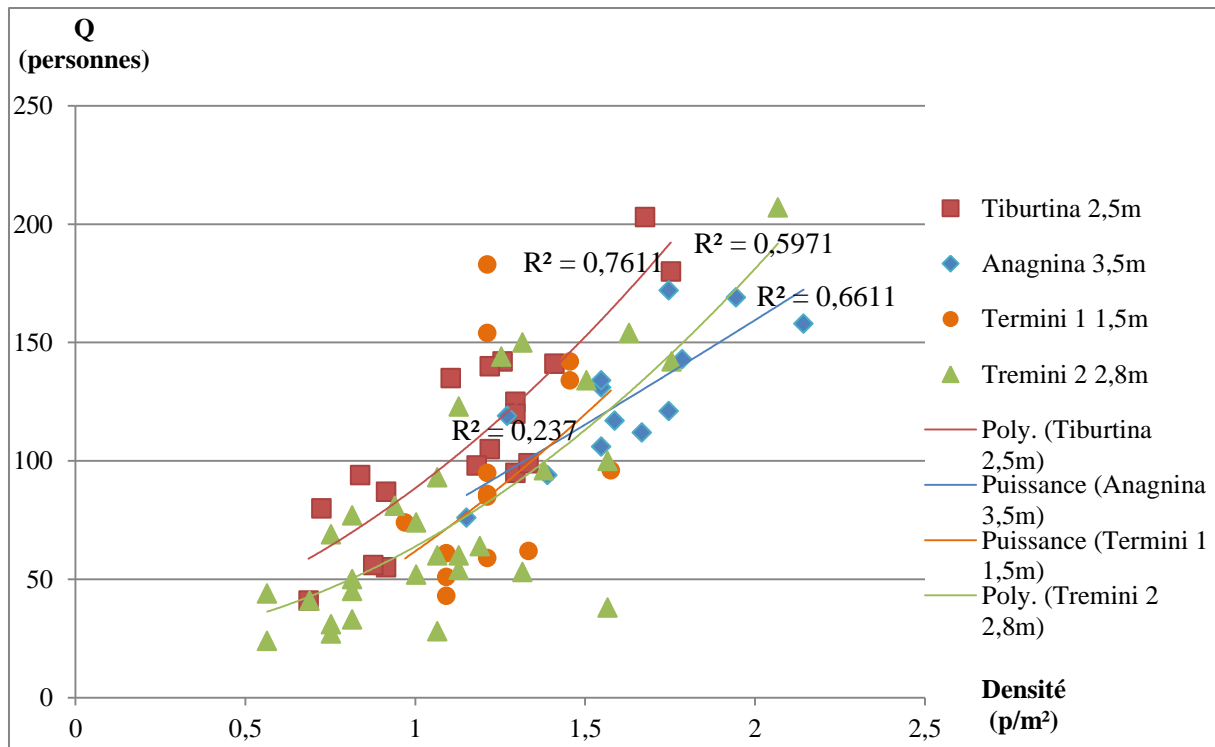


Graphique 4 : modélisations $Q=f(D)$ – densités moyennes et maximales

Les graphiques 5 et 6 montrent les courbes finalement obtenues pour toutes les stations. Le tableau 7 présente pour chaque station la modélisation utilisée, le coefficient de détermination correspondant ainsi que l'équation de la courbe obtenue. Les types de régressions possibles sont exponentielle, linéaire, logarithmique, polynomiale, ou puissance.



Graphique 5 : nombre de personnes en fonction de la densité max, Piramide, Ponte Mammolo, Laurentina



Graphique 6 : nombre de personnes en fonction de la densité max, Tiburtina, Anagnina, Termini 1, Termini 2

| Station | Equipement | Régression | Corrélation | Equation |
|---------------|------------------|---------------|----------------|------------------------------------|
| Piramide | esc ascendant | polynomiale | $R^2 = 0,8978$ | $y = 32,056x^2 + 29,361x + 12,137$ |
| Ponte Mammolo | esc descendant | puissance | $R^2 = 0,8519$ | $y = 71,289x^{1,1504}$ |
| Laurentina | esc ascendant | exponentielle | $R^2 = 0,8861$ | $y = 6,3369e^{2,5733x}$ |
| Tiburtina | esc descendant | polynomiale | $R^2 = 0,7611$ | $y = 40,179x^2 + 27,37x + 20,977$ |
| Anagnina | esc ascendant | puissance | $R^2 = 0,6611$ | $y = 73,05x^{1,1262}$ |
| Termini | esc descendant 1 | puissance | $R^2 = 0,237$ | $y = 61,823x^{1,6299}$ |
| | esc descendant 2 | polynomiale | $R^2 = 0,5971$ | $y = 37,66x^2 + 4,3496x + 21,831$ |

Tableau 7 : caractéristiques des modélisations

Toutes les courbes ont plus ou moins la même allure, celle qui était attendue ; **le nombre de personnes d'un flux augmente avec la densité**. Les modélisations sont le plus souvent polynomiale et puissance avec des coefficients de détermination acceptables ($>0,6$), excepté pour les escaliers de la station Termini.

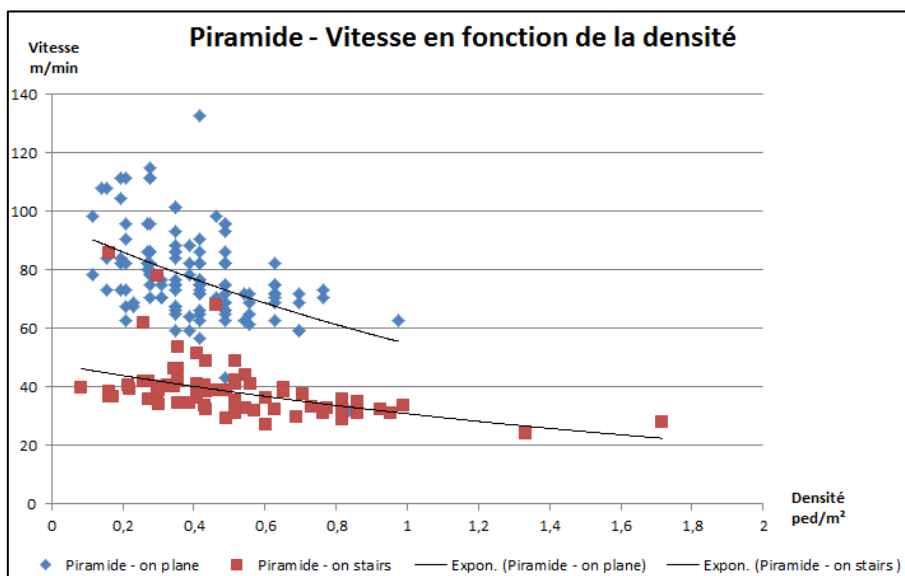
La largeur de l'escalier ne semble pas être un facteur influençant la tendance de la courbe ou la modélisation.

Graphique 2 : Vitesse en fonction de la densité, *on plane et on stairs*

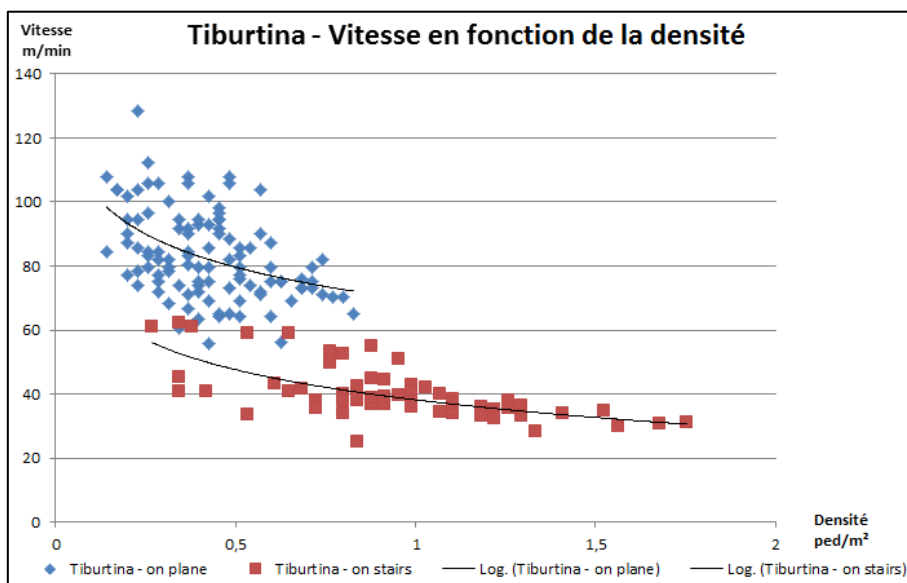
Sur les 8 stations étudiées, nous avons pu effectuer des mesures sur des escaliers et sur du plat dans seulement 5 d'entre elles : Piramide, Tiburtina, Anagnina, Ponte Mammolo et Termini.

Les graphiques des vitesses en fonction des densités, sur du plat et des escaliers sont présentés ci-dessous (graphiques 7, 8, 9 et 10). Ceux des stations où les données ne concernent que du plat ou que des escaliers sont disponibles en annexe 4.

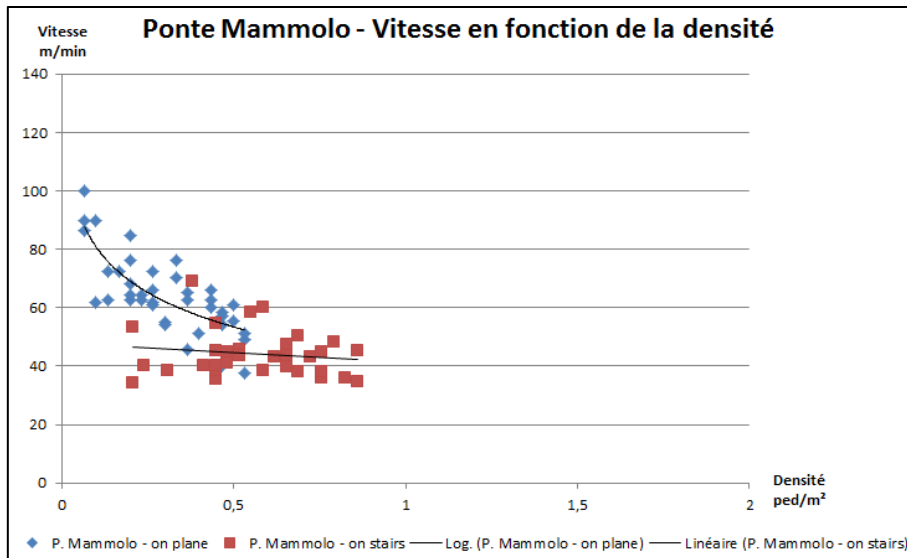
Le tableau 8 présente pour chaque série la courbe de tendance la plus adéquate, c'est-à-dire celle pour laquelle le coefficient de détermination est le plus élevé. On obtient le plus souvent une régression logarithmique, cependant les coefficients de détermination sont faibles : 75% des coefficients sont inférieurs à 0,6. Les modèles ne sont donc pas vraiment en adéquation avec les données observées. Il faudrait effectuer plus de mesures pour de meilleurs résultats.



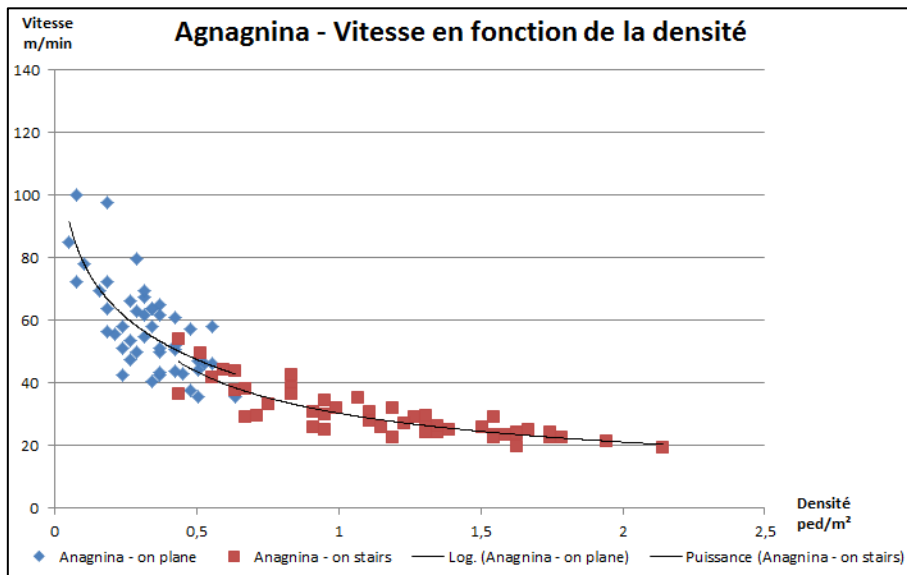
Graphique 7 : station Piramide, vitesse de marche sur des escaliers en fonction de la densité



Graphique 8 : station Tiburtina, vitesse de marche sur des escaliers en fonction de la densité



Graphique 9 : station Ponte Mammolo, vitesse de marche sur des escaliers en fonction de la densité



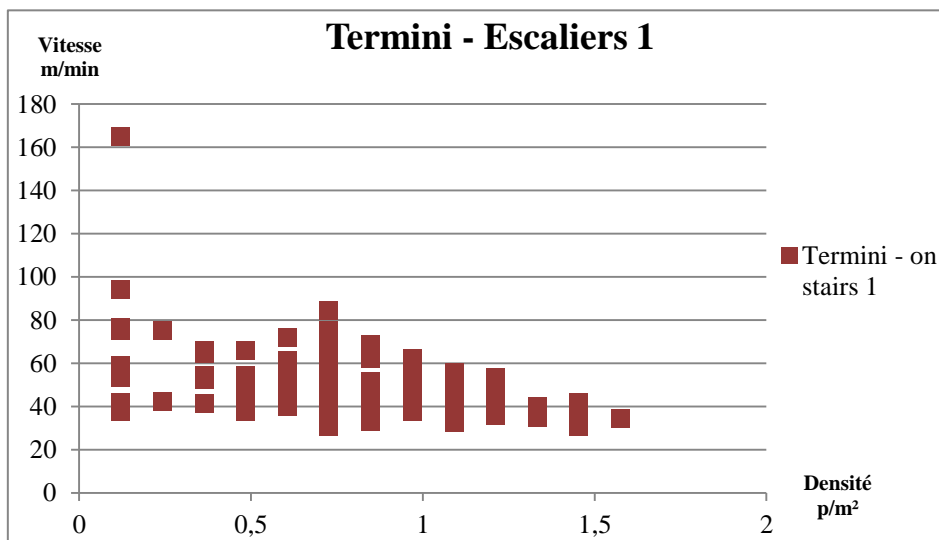
Graphique 10 : station Anagnina, vitesse de marche sur des escaliers en fonction de la densité

| Station | Equipement | Régression | Corrélation | Equation |
|---------------|----------------|---------------|----------------|-----------------------------|
| Piramide | plat | exponentielle | $R^2 = 0,2285$ | $y = 96,521e^{-0,566x}$ |
| | esc ascendant | exponentielle | $R^2 = 0,2994$ | $y = 47,999e^{-0,442x}$ |
| Tiburtina | plat | logarithmique | $R^2 = 0,1946$ | $y = -14,96\ln(x) + 69,271$ |
| | esc descendant | logarithmique | $R^2 = 0,4347$ | $y = -13,61\ln(x) + 38,158$ |
| Ponte Mammolo | plat | logarithmique | $R^2 = 0,6042$ | $y = -17,09\ln(x) + 41,574$ |
| | esc descendant | linéaire | $R^2 = 0,0227$ | $y = -6,4908x + 47,728$ |
| Anagnina | plat | logarithmique | $R^2 = 0,5113$ | $y = -19,56\ln(x) + 33,996$ |
| | esc ascendant | puissance | $R^2 = 0,7683$ | $y = 30,359x^{-0,524}$ |

Tableau 8 : caractéristiques des modélisations, sur du plat et des escaliers

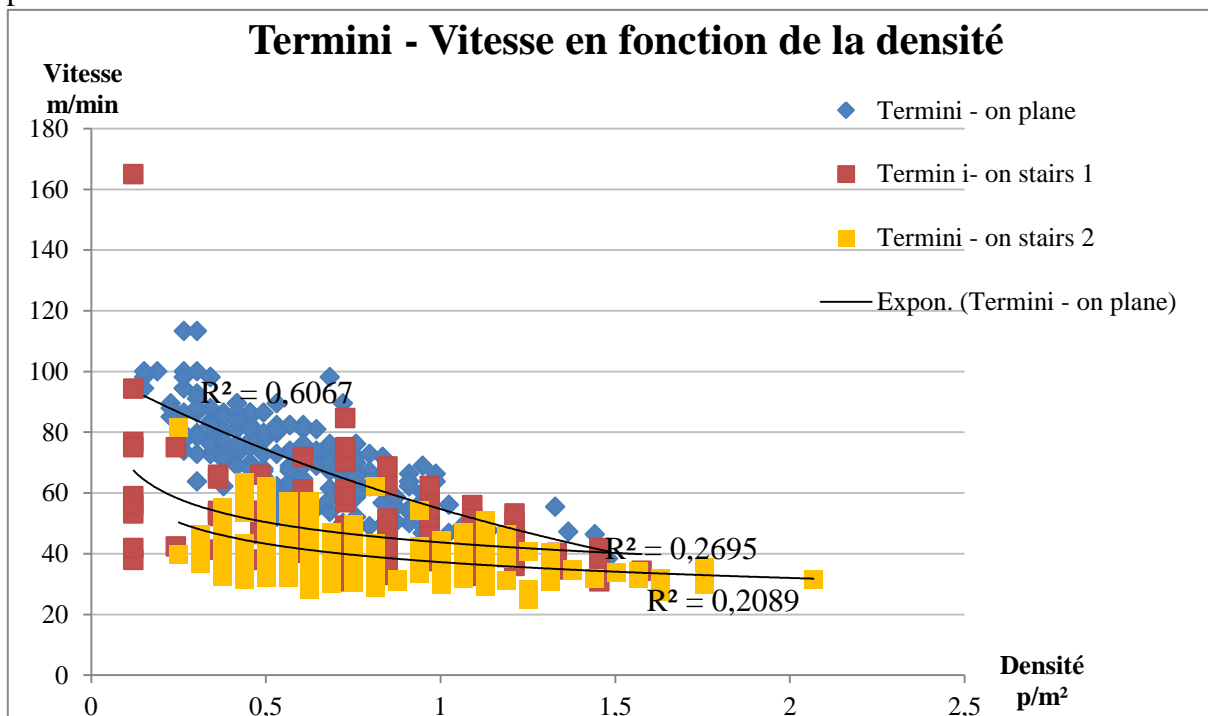
On observe qu'à Ponte Mammolo la densité est beaucoup plus faible que dans les autres stations et la modélisation est alors très mauvaise. Au contraire, dans la station Anagnina la plage de densité est la plus grande, et la modélisation la meilleure.

Pour la station Termini, qui est la plus grande de Rome, et donc la plus fréquentée, nous avons pu faire nos mesures sur du plat et deux escaliers de largeurs différentes. Le premier escalier était en fait très étroit et nous avons alors souvent obtenu la même densité. Il y a donc beaucoup de valeurs de vitesses différentes pour une même densité, comme constaté sur le graphique 11.



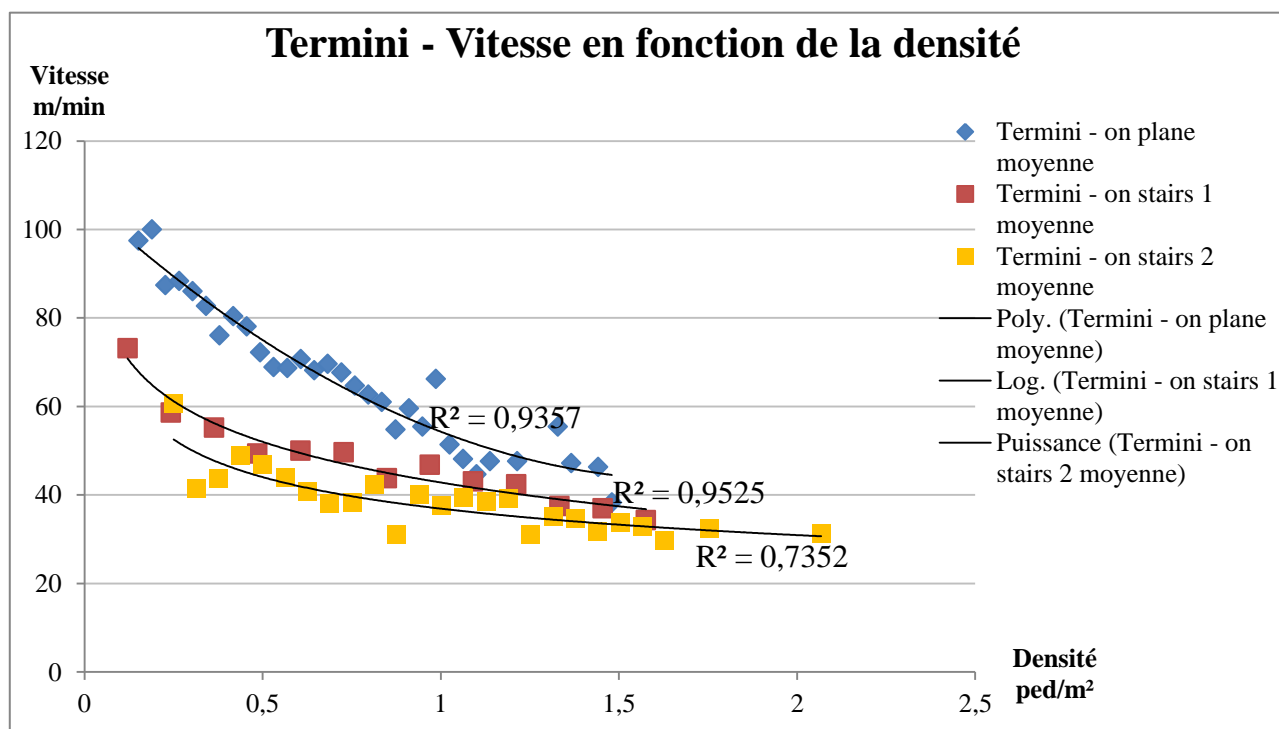
Graphique 11 : Termini Escalier 1, vitesse en fonction de la densité

Avec la méthode précédente le graphique obtenu, graphique 12, est alors assez chargé, peu lisible et les modélisations sont mauvaises.



Graphique 12 : Termini, vitesse en fonction de la densité, sur du plat et deux escaliers

J'ai donc décidé de calculer pour chaque densité, la moyenne de toutes les vitesses correspondant à cette densité. J'obtiens ainsi des courbes moyennes, beaucoup plus propices à la modélisation, comme l'attestent le graphique 13 et le tableau 9.



Graphique 13 : Termini, vitesse en fonction de la densité, sur du plat et deux escaliers, courbes moyennes

| Station | Equipement | Régression | Corrélation | Equation |
|---------|------------------|---------------|----------------|------------------------------------|
| Termini | plat | polynomiale | $R^2 = 0,9357$ | $y = 21,503x^2 - 73,687x + 106,48$ |
| | esc descendant 1 | logarithmique | $R^2 = 0,9525$ | $y = -13,27\ln(x) + 42,812$ |
| | esc descendant 2 | puissance | $R^2 = 0,7352$ | $y = 36,903x^{-0,255}$ |

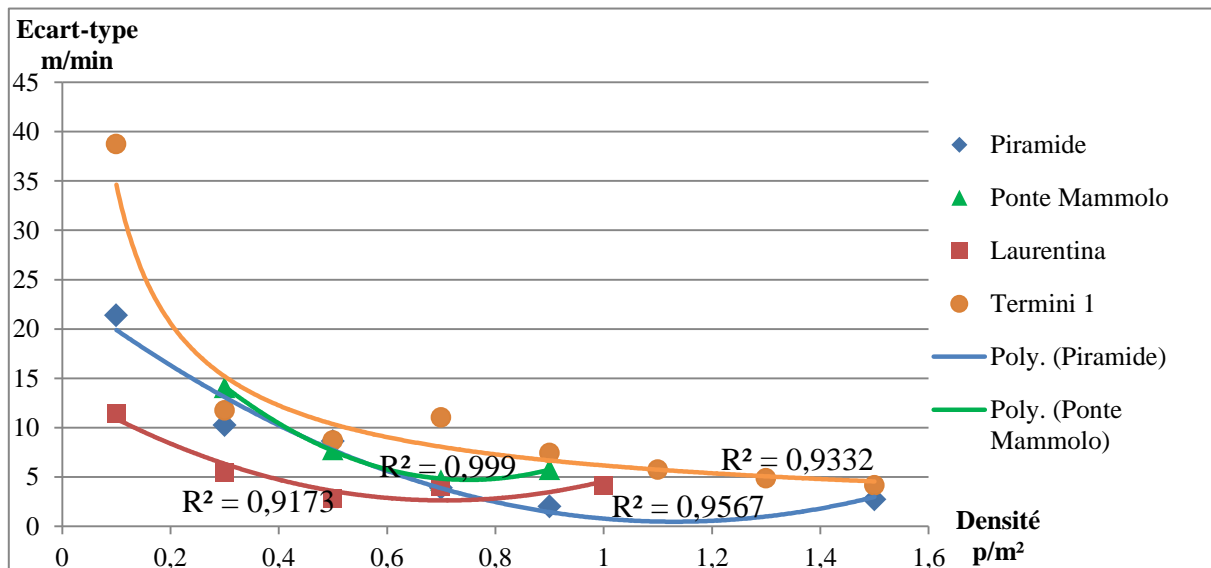
Tableau 9 : caractéristiques des modélisations à Termini

Ces graphiques permettent d'affirmer que globalement la vitesse diminue avec l'augmentation de la densité. Ce phénomène est particulièrement visible sur le graphique 11. Pour des faibles densités l'amplitude des vitesses est grande, la vitesse varie considérablement : chaque piéton marche à l'allure qu'il veut, à sa vitesse libre. Au contraire, plus la densité augmente et plus les vitesses sont les mêmes pour tout le monde : elles sont conditionnées par la densité, les piétons prennent la vitesse du flux et non la vitesse qu'ils veulent.

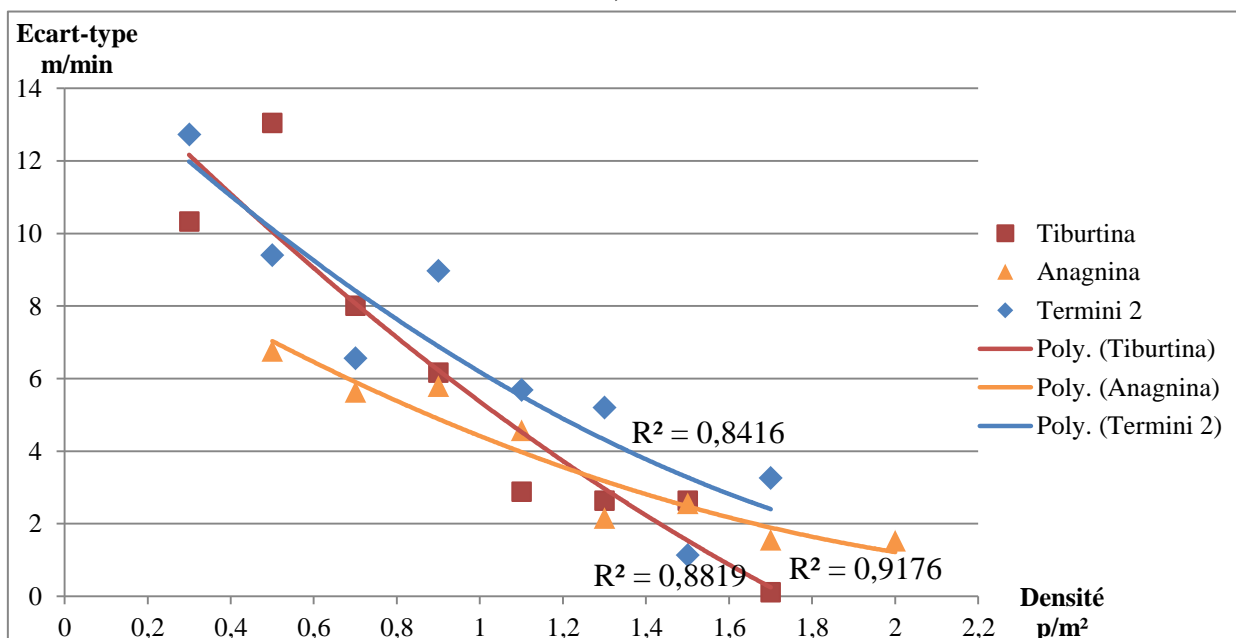
La vitesse n'est donc pas fonction de la densité lorsque celle-ci est assez faible et est alors régie par les caractéristiques individuelles des piétons telles que l'âge, le genre ou la condition de chargement, ainsi que les horaires des trains. Pour une densité plus grande la vitesse diminue avec l'augmentation de la densité et les variations sont de plus en plus faibles.

D'après Yang et al. (2012)⁶, en situation normale (par opposition à une situation d'urgence), la vitesse moyenne de marche sur des escaliers varie entre 24 et 42 m/min pour une densité inférieure à 1 p/m², considérée comme faible densité. Ici, les vitesses moyennes de marche sont bien plus élevées : en effet toutes stations confondues, je trouve que la vitesse varie en moyenne entre 28,5 et 72,8 m/min pour des densités inférieures à 1 p/m².

Afin d'approfondir la variation de vitesse avec l'augmentation de la densité, j'ai tracé l'écart-type des vitesses (sur les escaliers) pour chaque variation de 0,2 p/m² en densité comme le montrent les graphiques 14 et 15.



Graphique 14 : écart-type des vitesses en fonction de la densité, Piramide, Ponte Mammolo, Laurentina, Termini 1



Graphique 15 : écart-type des vitesses en fonction de la densité, Tiburtina, Termini 2, Anagnina

⁶ SHAH Jiten et al. *Behavioral characteristics of pedestrian flow on stairway at railway station*. Procedia – Social and Behavioral Sciences, Vol. 104, 2013, p. 688-697

On observe que les écarts-types décroissent avec l'augmentation des densités, c'est-à-dire que **plus la densité est élevée plus la dispersion dans les valeurs de vitesse est faible**. On remarque aussi, surtout pour les stations du graphique 13, que les courbes tendent à s'aplatir ce qui indique également que **les variations de vitesses sont moindres et plus ou moins constantes avec l'augmentation de la densité**.

Ces résultats ne me permettent cependant pas de donner une valeur seuil, comme Yang et al. (2012) à partir de laquelle la variation de vitesse tend à se stabiliser.

Dans cette étude, la vitesse moyenne de marche dans les escaliers (ascendants ou descendants), toutes stations confondues se trouve être de 39,9 m/min, ce qui est bien plus bas que la vitesse moyenne des piétons marchant sur du plat qui est de 72,1 m/min. En effet, ce résultat semble logique puisqu'il est plus fatiguant de marcher sur des escaliers que sur du plat. Les piétons ajustent automatiquement leur vitesse en la réduisant, pour minimiser l'effort. De plus le mouvement sur les escaliers peut se décomposer en 2 : lever/déplacer la jambe, puis poser le pied sur la marche ; alors que sur du plat le mouvement est simple : le piéton déplace et pose directement son pied par terre. La vitesse de marche sur du plat est ainsi quasiment le double de celle sur des escaliers. **La vitesse moyenne sur du plat est bien plus grande (80%) que dans des escaliers.**

Lee (2005) affirme que la vitesse libre des piétons est plus grande pour des escaliers descendants (46,26 m/min) que pour des escaliers montants (40,8 m/min)⁷.

Dans mon étude, je trouve le même résultat avec des vitesses un peu plus faibles mais un écart plus important : la vitesse moyenne de marche est de 43,1 m/min pour les escaliers descendants et de 35,8 m/min pour les escaliers montants. Ce résultat paraît également cohérent étant donné que dans le sens ascendant, la contrainte des escaliers freine le poids du corps, alors que dans le sens descendant le corps est naturellement attiré vers la marche suivante. **La vitesse de marche dans des escaliers descendants est (20%) plus grande que dans des escaliers ascendants.**

| | Vitesse moyenne m/min |
|-----------------------|--------------------------|
| Plat | 72,14 |
| Escaliers Ascendants | 35,76 |
| Escaliers Descendants | 43,08 |
| Escaliers | 39,94 |

Tableau 10 : Vitesses moyennes sur les différents équipements, toutes stations confondues

D'après Fruin (1987) et d'autres chercheurs⁷, la plage de vitesse recommandée est de 30,6-34,2 m/min pour les escaliers montants et 40,2-46,2 m/min pour les escaliers descendants.

Dans cette étude, je trouve une vitesse moyenne de marche sur les escaliers ascendants (Piramide, Anagnina, Laurentina) juste un peu plus élevée : 35,8 m/min pour une densité

⁷ SHAH Jiten et al. *Behavioral characteristics of pedestrian flow on stairway at railway station*. Procedia – Social and Behavioral Sciences, Vol. 104, 2013, p. 688-697

moyenne de 0,71 p/m². Pour les escaliers descendants (Termini, Tiburtina, Ponte Mammolo), la vitesse moyenne de marche est de 43,1 m/min pour une densité de 0,79 p/m² et se trouve dans l'intervalle cité.

Tang et Liu (2009) trouvent dans leur étude une vitesse libre des piétons de 49,2 m/min à 0,5 p/m² de densité pour les escaliers montants et à 0,4 p/m² pour les escaliers descendants⁷. Dans mon étude, pour les mêmes valeurs de densité, je trouve une vitesse moyenne similaire (49,3 m/min) pour les escaliers descendants, mais sensiblement plus faible (39,6 m/min) pour les escaliers montants.

Une vitesse aussi élevée serait donc en théorie atteinte pour une densité plus faible. Nous avons vu préalablement que pour des faibles densités les piétons marchent librement, à la vitesse qui leur convient. Cette faible vitesse (par rapport à l'étude de Tang et Liu) pourrait s'expliquer par les conditions même de mon étude : l'été à Rome. En effet les piétons choisis n'étaient pas forcément des travailleurs qui souhaitaient rentrer chez eux rapidement. De plus, dans des escaliers ascendants les faibles densités se trouvent plutôt à la fin des flux, et les personnes marchent alors relativement lentement. Au contraire dans les escaliers descendants, les faibles densités se trouvent plutôt au début des flux, avec des personnes pressées.

Sur des surfaces plates, les vitesses de marche trouvées dans la littérature varient entre 73,8 m/min et 83,4 m/min dans les pays asiatiques (Tanaboriboon et al. 1986, Lam and Cheung 2000, Hongfei et al. 2009, Kotkar et al. 2010) ; entre 78,6 m/min et 90 m/min dans les pays européens (Oeding 1963, Older 1968) ; et entre 78,6 m/min et 82,2 m/min aux Etats-Unis (Navin et Wheeler 1969, Fruin 1971). La vitesse moyenne de marche des piétons sur du plat serait de 84,6 m/min dans les pays européens, 81 m/min aux Etats-Unis et 74,4 m/min en Asie.⁸

Ici, les vitesses de marche sur le plat varient en moyenne sur toutes les stations entre 42,4 et 114 m/min. L'amplitude est bien plus grande que les intervalles cités précédemment. La vitesse moyenne de marche, toutes stations confondues est trouvée plus basse que toutes celles des autres études : 72 m/min.

Cela peut peut-être s'expliquer une nouvelle fois par le fait que cette étude a été faite durant l'été, à Rome, où l'on trouve beaucoup de touristes venus en vacances, qui sont donc globalement moins rapides que les habitants et travailleurs de la ville.

C/ Difficultés rencontrées

J'ai parfois été confrontée à quelques difficultés au cours de mon stage.

Premièrement, notre maître de stage avait fait une demande d'autorisation à ATAC, la société qui gère les transports en communs à Rome, pour que nous puissions faire nos observations dans les stations. Cependant, même avec l'autorisation que nous avons eu de leur part, les gardes (présents dans toutes les stations) nous ont parfois gêné : il est en effet arrivé qu'ils ne veulent pas que l'on reste sur le quai, ou même que l'on soit à l'intérieur de la station (à Anagnina). Nous avons donc parfois dû être assez discrètes et revenir plusieurs fois pour avoir assez de mesures.

⁸ RASTOGI Rajat et al. *Pedestrian flow characteristics for different pedestrian facilities and situations*. European Transport, Issue 53, 2013, Paper 6

Deuxièmement, cette étude se concentre sur les flux piétons sur du plat et sur des escaliers. Cependant, presque toutes les stations que nous avons étudiées sont équipées d'escalators (et même d'ascenseurs), si bien qu'une très grande partie des piétons n'emprunte pas les escaliers. Il a donc été assez difficile d'obtenir des données pour des densités élevées (seules quelques vitesses ont été mesurées pour une densité supérieure à 2 p/m²), alors que sur les graphiques théoriques qui nous ont été donnés la densité peut aller jusqu'à 5 p/m². Nous ne pouvions évidemment pas demander l'arrêt d'un escalator à la société ATAC même pour quelques temps. Nous sommes donc restés plusieurs heures dans les stations, et pendant les heures de pointe pour avoir un maximum de densités différentes.

De plus, pendant le mois d'août beaucoup d'italiens partent en vacances et les métros étaient bien moins remplis qu'auparavant, ce qui nous a encore compliqué la tâche. Heureusement, nous avons déjà effectué de nombreuses observations pendant les mois précédents.

III/ Analyse des effets des attributs individuels

A/ Remarques générales

Je présente ici quelques constatations générales que j'ai remarquées, sans les prouver, au cours de mes observations.

Les piétons semblent obéir à des « règles de comportement » qui sont les deux suivantes :

- un piéton se déplace vers l'espace libre assez large pour qu'il s'y engage et qui en même temps le rapproche le plus de sa destination
- le piéton ajuste en permanence sa vitesse de marche pour conserver une distance minimale de sécurité par rapport aux autres piétons. Si cette distance est courte il ralentit, et si elle est plus grande, il accélère jusqu'à atteindre sa vitesse de confort.⁹

Au moment de l'arrivée et du départ des trains, les piétons arrivent sur le quai avec une vitesse supérieure à la vitesse normale, quel que soit leur âge.

Immédiatement après l'arrivée d'un métro, les passagers qui descendent se déplacent vers l'escalier et l'escalator en grand nombre ce qui crée une congestion pendant quelques instants à l'entrée de l'escalator, influençant le mouvement individuel. Même avec cette congestion devant l'escalator, de nombreux piétons préfèrent attendre plutôt que de prendre l'escalier.

Les piétons avec des bagages ou qui tiennent un enfant nécessitent plus d'espace et affectent le mouvement des piétons derrière eux. Les piétons en groupe se parlent les uns avec les autres en faisant correspondre leur vitesse de marche. Un tel groupe de piétons affecte toute la circulation des autres piétons.

B/ Effets des caractéristiques des piétons dans les escaliers

1/ Le genre

Le tableau 11 montre l'analyse statistique des variations de vitesse en fonction du genre, pour chaque station. Les données ne concernent pas toutes les stations étudiées car, dans le début de nos observations nous ne notions pas encore les caractéristiques des piétons.

Esc Asc – escalier ascendant ; Esc Des – escalier descendant ; H/F – homme/femme ; N – nombre d'échantillons ; Vmoy – vitesse moyenne

⁹ MOUSSAID Mehdi. Comment les piétons marchent dans la foule. *La Recherche*, Mars 2011, n°450, p. 56-59

| Station | Esc Asc/ Esc Des | H/F | N | Vmoy (m/min) |
|------------|------------------|-----|----|--------------|
| Termini | Esc Des 2 | H | 82 | 41,45 |
| | | F | 76 | 39,53 |
| Laurentina | Esc Asc | H | 20 | 39,21 |
| | | F | 11 | 36,16 |
| Piramide | Esc Asc | H | 13 | 37,97 |
| | | F | 23 | 36,46 |
| Tiburtina | Esc Des | H | 21 | 45,33 |
| | | F | 12 | 34,63 |

Tableau 11 : vitesses moyennes de marche des hommes et des femmes sur des escaliers ascendants ou descendants, selon les stations étudiées

La vitesse des hommes et des femmes diffère en fonction de s'ils se trouvent sur des escaliers ascendants ou descendants. En effet, nous avons trouvé précédemment que **les piétons sont en moyenne plus rapides dans la direction descendante**. Cette conclusion est ici vérifiée dans le cas des hommes, avec un écart de 11,7%, ainsi que dans le cas des femmes, avec un faible écart de 2,1%. Les données sont recensées dans le tableau 12.

La différence de vitesse entre les hommes et les femmes est plus grande dans la direction descendante. Les hommes marchent respectivement 6,3% et 16,3% plus vite que les femmes dans les escaliers ascendants et descendants, toutes stations confondues.

La vitesse moyenne de marche dans des escaliers est de 41 m/min pour un homme, et 37 m/min pour une femme (tableau 13). **En moyenne sur des escaliers, un homme marche donc 12% plus rapidement qu'une femme.**

| Esc Asc/ Esc Des | H/F | N | Vmoy (m/min) |
|------------------|-----|-----|--------------|
| Esc Asc | H | 33 | 38,59 |
| | F | 34 | 36,31 |
| Esc Des | H | 103 | 43,39 |
| | F | 88 | 37,08 |

Tableau 12 : vitesses moyennes de marche des hommes et des femmes sur des escaliers ascendants et descendants, toutes stations confondues

| H/F | N | Vmoy (m/min) |
|-----|-----|--------------|
| H | 136 | 40,99 |
| F | 122 | 36,69 |

Tableau 13 : vitesses moyennes de marche des hommes et des femmes dans des escaliers, toutes stations confondues

Le tableau 14 montre l'analyse statistique des variations de vitesse en fonction de l'âge et du genre pour chaque station dont nous avons les données.

| Station | Esc Asc/ Esc Des | Age | H/F | N | Vmoy (m/min) |
|------------|------------------|-----|-----|----|--------------|
| Termini | Esc Des 2 | J | H | 24 | 42,79 |
| | | | F | 39 | 41,83 |
| | | M | H | 50 | 40,73 |
| | | | F | 36 | 36,95 |
| | | A | H | 8 | 41,94 |
| | | | F | 1 | 42,75 |
| Laurentina | Esc Asc | J | H | 4 | 39,19 |
| | | | F | 4 | 35,72 |
| | | M | H | 16 | 39,22 |
| | | | F | 7 | 36,41 |
| | | A | H | 0 | . |
| | | | F | 0 | . |
| Piramide | Esc Asc | J | H | 2 | 44,84 |
| | | | F | 11 | 37,01 |
| | | M | H | 9 | 38,00 |
| | | | F | 11 | 35,91 |
| | | A | H | 2 | 32,04 |
| | | | F | 1 | 36,47 |
| Tiburtina | Esc Des | J | H | 10 | 49,09 |
| | | | F | 10 | 34,83 |
| | | M | H | 10 | 42,66 |
| | | | F | 2 | 33,61 |
| | | A | H | 1 | 34,43 |
| | | | F | 0 | . |

Tableau 14 : vitesses moyennes de marche des piétons selon leur âge et leur genre dans des escaliers ascendants ou descendants, selon les stations étudiées

Esc Asc – escalier ascendant ; Esc Des – escalier descendant ; J – jeune : <30 ans ; M – moyen : [30:60] ans ; A – âgé : >60 ans ; H/F – homme/femme ; N – nombre d'échantillons ; Vmoy – vitesse moyenne

Les hommes et les femmes de tous âges ont des différences importantes dans les vitesses de marche dans des escaliers.

Le tableau 15 montre qu'en moyenne, toutes stations confondues, **les moins de 30 ans marchent un peu plus vite que les personnes d'âge moyen, marchant eux-mêmes un peu plus vite que les plus de 60 ans. Cette conclusion est valable aussi bien pour des escaliers ascendants que descendants ; les écarts de vitesses selon les âges sont plus importants dans la direction descendante.**

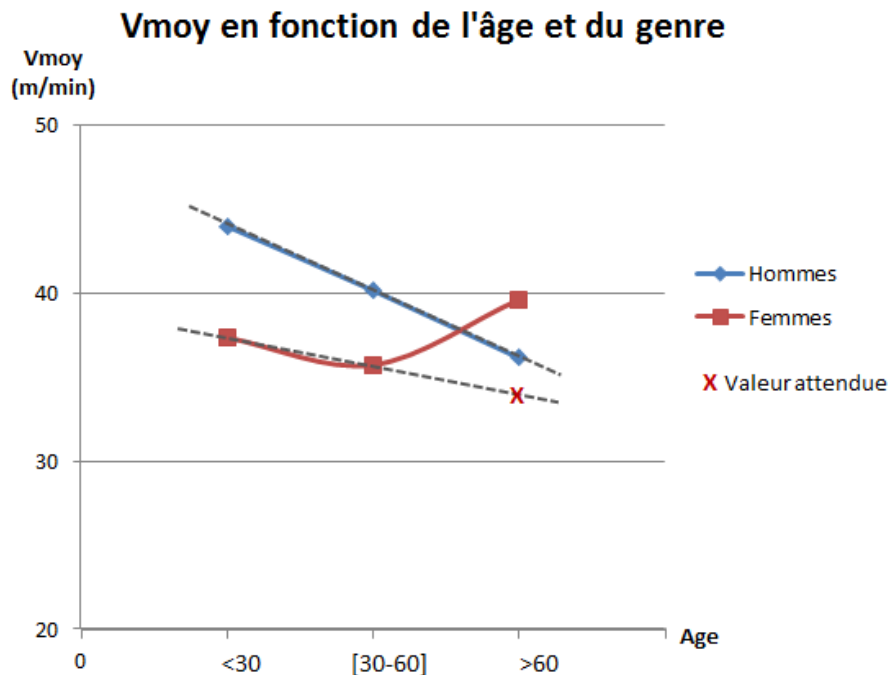
| Esc Asc/ Esc Des | Age | N | Vmoy (m/min) |
|------------------|-----|-----|--------------|
| Escaliers | J | 104 | 39,95 |
| | M | 141 | 38,88 |
| | A | 13 | 36,66 |
| Esc Asc | J | 21 | 37,83 |
| | M | 43 | 37,61 |
| | A | 3 | 33,51 |
| Esc Des | J | 83 | 42,08 |
| | M | 98 | 40,15 |
| | A | 10 | 38,23 |

Tableau 15 : vitesses moyennes de marche des piétons selon leur âge dans des escaliers, toutes stations confondues

Le tableau 16 confirme l'idée précédente dans le cas des hommes. Pour les femmes, la vitesse moyenne des plus de 60 ans est plus élevée que la valeur attendue, cependant, nous n'avons que 2 échantillons, ce qui est trop peu pour pouvoir réfuter notre hypothèse. Le graphique 16 permet de bien visualiser la tendance.

| Age | H/F | N | Vmoy (m/min) |
|-----|-----|----|--------------|
| J | H | 40 | 43,98 |
| | F | 64 | 37,35 |
| M | H | 85 | 40,15 |
| | F | 56 | 35,72 |
| A | H | 11 | 36,13 |
| | F | 2 | 39,61 |

Tableau 16 : vitesses moyennes de marche des piétons selon leur âge et leur genre dans des escaliers, toutes stations confondues



Graphique 16 : vitesses moyennes de marche dans des escaliers des hommes et des femmes en fonction de leur âge, toutes stations confondues

Nous avons également noté d'autres caractéristiques selon la personne choisie : si elle porte un bagage, si elle utilise son téléphone, si elle parle avec quelqu'un, s'il n'y a personne devant elle, et si elle est particulièrement lente ou rapide.

Cependant le nombre d'échantillons est faible et ne permet pas vraiment d'émettre de conclusion. Dans l'ensemble, nous avons tout de même observé que **les personnes ayant des bagages, utilisant leur téléphone, parlant avec quelqu'un ou encore portant un enfant sont plus lentes que les autres personnes**. Il en va de même pour les piétons marchant sur du plat.

C/ Effets des caractéristiques des piétons sur du plat

1/ Le genre

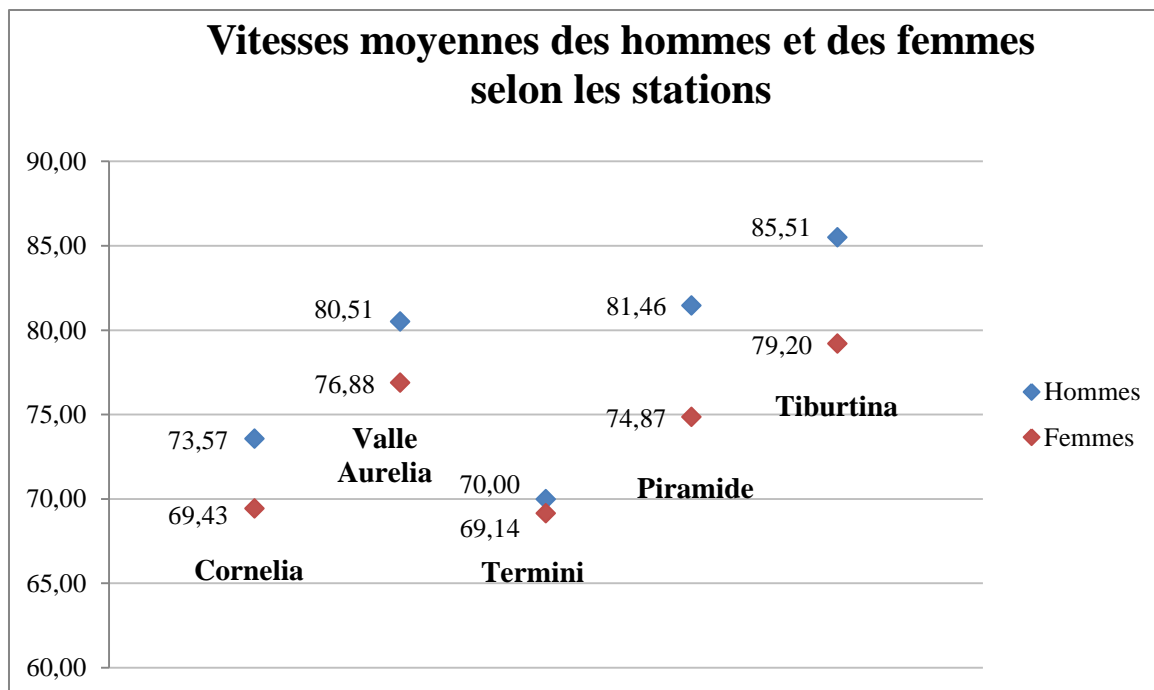
Le tableau 17 montre l'analyse statistique des variations de vitesse en fonction du genre, pour chaque station. Les données ne concernent pas toutes les stations étudiées car, dans le début de nos observations nous ne notions pas encore les caractéristiques des piétons choisis.

| Station | H/F | N | Vmoy (m/min) | Ecart relatif % |
|----------------------------|-----|-----|--------------|-----------------|
| Cornelia | H | 56 | 73,57 | 6,0 |
| | F | 70 | 69,43 | |
| Valle Aurelia | H | 19 | 80,51 | 4,7 |
| | F | 24 | 76,88 | |
| Termini | H | 25 | 70,00 | 1,2 |
| | F | 20 | 69,14 | |
| Piramide | H | 65 | 81,46 | 8,8 |
| | F | 58 | 74,87 | |
| Tiburtina | H | 17 | 85,51 | 8,0 |
| | F | 14 | 79,20 | |
| | | | | |
| Toutes stations confondues | H | 182 | 78,21 | 5,8 |
| | F | 186 | 73,91 | |

Tableau 17 : vitesses moyennes de marche des hommes et des femmes sur des escaliers ascendants ou descendants, selon les stations étudiées

H/F – homme/femme ; N – nombre d'échantillons ; Vmoy – vitesse moyenne

Le graphique 17, permet de bien visualiser que sur du plat, les hommes marchent en moyenne plus vite que les femmes. Selon les stations cette différence est observée plus ou moins grande. Toutes stations confondues, la vitesse moyenne de marche sur du plat est de 78 m/min pour un homme, et de 74 m/min pour une femme. **En moyenne sur du plat, les hommes marchent donc 6% plus rapidement que les femmes.**



Graphique 17 : vitesses moyennes des hommes et des femmes sur du plat, par station

2/ L'âge

Le tableau 18 montre l'analyse statistique des variations de vitesse en fonction de l'âge et du genre pour chaque station dont nous avons les données.

| Station | Age | H/F | N | Vmoy (m/min) |
|---------------|-----|-----|----|--------------|
| Cornelia | J | H | 17 | 72,75 |
| | | F | 25 | 68,73 |
| | M | H | 36 | 73,49 |
| | | F | 41 | 70,24 |
| | A | H | 3 | 79,10 |
| | | F | 4 | 65,47 |
| Valle Aurelia | J | H | 4 | 71,83 |
| | | F | 11 | 82,62 |
| | M | H | 13 | 82,62 |
| | | F | 12 | 72,26 |
| | A | H | 2 | 84,18 |
| | | F | 1 | 69,23 |
| Termini | J | H | 9 | 66,62 |
| | | F | 10 | 69,87 |
| | M | H | 13 | 71,34 |
| | | F | 7 | 67,81 |
| | A | H | 3 | 74,28 |
| | | F | 3 | 69,83 |

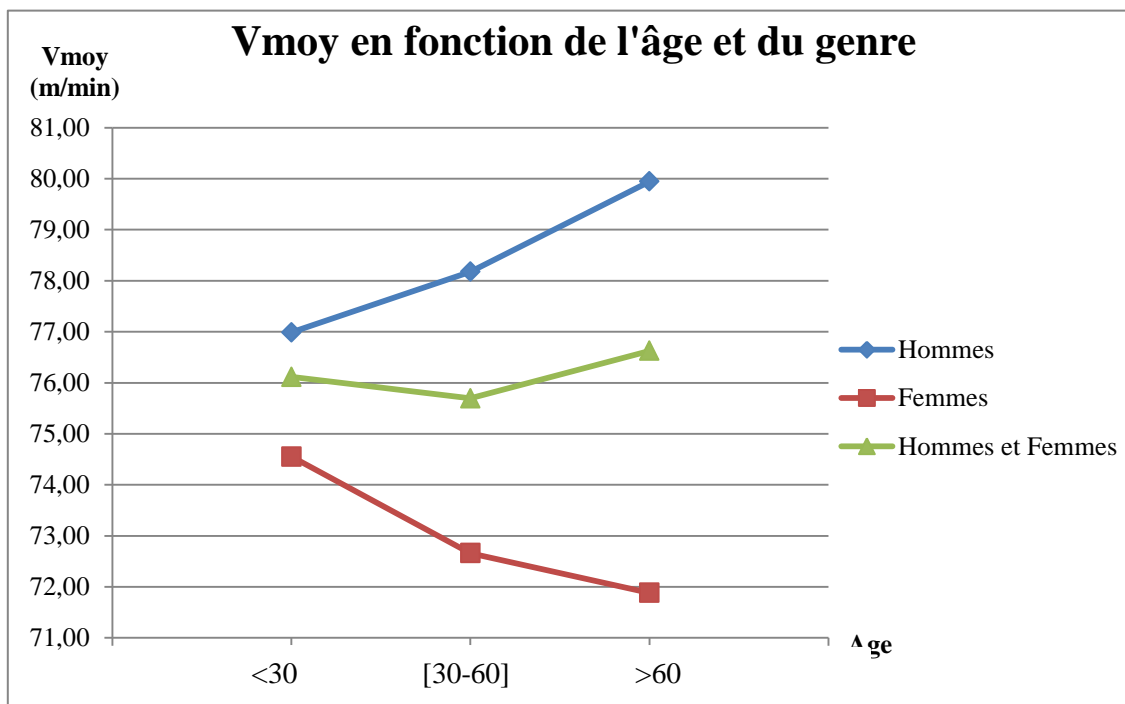
| | | | | |
|-----------|---|---|----|-------|
| Piramide | J | H | 21 | 82,70 |
| | | F | 21 | 73,43 |
| | M | H | 35 | 81,71 |
| | | F | 33 | 77,18 |
| | A | H | 9 | 77,61 |
| | | F | 4 | 63,38 |
| Tiburtina | J | H | 6 | 91,03 |
| | | F | 7 | 78,10 |
| | M | H | 8 | 81,71 |
| | | F | 5 | 75,81 |
| | A | H | 3 | 84,57 |
| | | F | 2 | 91,50 |

Tableau 18 : vitesses moyennes de marche des piétons selon leur âge et leur genre, sur du plat, selon les stations étudiées

J – jeune : <30 ans ; M – moyen : [30 :60] ans ; A – âgé : >60 ans ; H/F – homme/femme ; N – nombre d'échantillons ; Vmoy – vitesse moyenne

Les hommes et les femmes de tous âges ont des différences notables dans les vitesses de marche sur du plat.

Le graphique 18 montre qu'en moyenne, toutes stations confondues, l'âge n'influe pas beaucoup sur les vitesses de marche (ligne verte quasi constante). On observe que ce sont les personnes âgées qui sont les plus rapides, mais avec un écart relatif de 1,2% avec les personnes d'âges moyens, et de 0,67% seulement avec les jeunes (tableau détaillé disponible en annexe 5). **Il semble donc que l'âge ne soit pas un facteur déterminant dans la vitesse de marche des piétons sur du plat.**



Graphique 18 : vitesses moyennes de marche des piétons selon leur âge et leur genre, sur du plat, toutes stations confondues

Cependant, on s'aperçoit qu'en fonction du genre, les tendances sont complètement différentes. Dans les cas des hommes, les jeunes sont clairement plus lents que les personnes d'âges moyens, eux-mêmes plus lents que les plus âgés ; dans les cas des femmes, on observe le phénomène inverse.

Il faut toutefois relativiser : l'écart relatif entre les valeurs extrêmes est seulement de 3,8% dans le cas des hommes, et de 3,7% dans celui des femmes. De plus, le nombre d'échantillons est très différent selon les âges, et reste globalement plutôt faible. **Ainsi je ne peux affirmer qu'une tendance nette s'exprime. Il faudrait faire davantage de mesures pour savoir s'il existe une tendance, et si oui laquelle.**

D/ Critiques et perspectives

Pour faire nos observations nous n'avions absolument aucun outil, nous étions obligées de compter et de mesurer « à la main » les différents paramètres, ce qui implique certaines incertitudes : nous avons pu nous tromper et les données ne sont pas très précises. Pour mesurer les caractéristiques des différentes installations, nous le faisons également sans matériel, en comptant le nombre de pieds et en ayant mesuré la taille de notre chaussure. La précision des données pourrait ainsi être grandement améliorée avec un peu de matériel (un mètre, un compteur, un chronomètre).

De plus, dans toutes les études que j'ai pu lire au cours de mes recherches, les données étaient extraites de vidéos. Cela permet d'être plus précis et d'avoir beaucoup plus de données. L'étude réalisée pourrait être, à mon avis, plus aboutie s'il était possible d'utiliser les données vidéos des caméras des stations.

Par ailleurs, c'est nous qui choisissons une personne pour mesurer sa vitesse et la densité devant elle (et non autour d'elle, comme cela serait possible avec des données vidéos). Même si nous essayions d'être objectives, les personnes choisies étaient souvent des personnes bien visibles, grandes ou avec un signe distinctif comme un chapeau, des lunettes ou encore un t-shirt coloré ; Ainsi le choix n'est pas totalement impartial et on remarque d'ailleurs que le nombre d'échantillons est très différents selon les âges ou le genre.

Les recherches d'autres études n'ont pas toujours été évidentes non plus. En effet de nombreuses études ont été réalisées mais les articles eux-mêmes sont difficiles à obtenir car très souvent payants. Mes références se font donc par le biais d'autres articles qui citent eux-mêmes les études en question.

Ainsi je n'ai pas toujours trouvé toutes les données nécessaires. Notamment, j'ai pu trouver quelques valeurs de vitesses, pour pouvoir les comparer à celles de l'étude que j'ai réalisée, mais il n'y a pas toujours de densité correspondante, alors que c'est justement un facteur très important.

Ainsi, je pense que l'étude que j'ai réalisée pourrait être améliorée en ayant notamment plus de matériel et en comparant de façon plus approfondie les résultats trouvés avec ceux des études antérieures. Elle pourrait également être complétée en s'intéressant au débit (en p/min/m) et à l'espace requis (en m²/p) en plus de la vitesse et de la densité, et en déterminant la vitesse libre, la densité et la vitesse critiques, ainsi que la densité de bourrage, comme c'est souvent le cas dans d'autres études.

Conclusion

La présente étude s'intéresse aux caractéristiques des mouvements des piétons sur des escaliers et sur des zones planes dans plusieurs stations de métro de Rome. Elle analyse les relations entre la vitesse, la densité et le nombre de personnes et considère également des attributs tels que l'âge et le genre, mais aussi la condition de chargement ou encore l'utilisation d'un téléphone.

Pour différentes tailles d'escaliers, les graphiques nombre de personnes-densité et vitesse-densité montrent différentes tendances, bien sûr, avec un modèle similaire.

Le nombre de personnes d'un flux augmente avec la densité, et la largeur d'escalier ne semble pas être liée à la tendance de cette relation.

Dans le cas de la relation vitesse-densité, l'influence de la densité est plus importante sur la vitesse lorsque la première est élevée. Lorsque la densité est assez faible, on observe de grandes variations de vitesse. Celle-ci n'est alors pas fonction de la densité et est régie par les caractéristiques individuelles des piétons telles que l'âge, le genre ou la condition de chargement, ainsi que les horaires des trains. Pour une densité plus grande la vitesse diminue avec l'augmentation de la densité et les variations de vitesses sont de plus en plus faibles.

La vitesse moyenne de marche sur du plat est bien plus grande (80%) que dans des escaliers. Elle est (20%) plus grande dans des escaliers descendants que dans des escaliers ascendants, quel que soit le genre.

En moyenne les hommes marchent 12% plus rapidement que les femmes sur des escaliers, et 6% plus rapidement sur du plat.

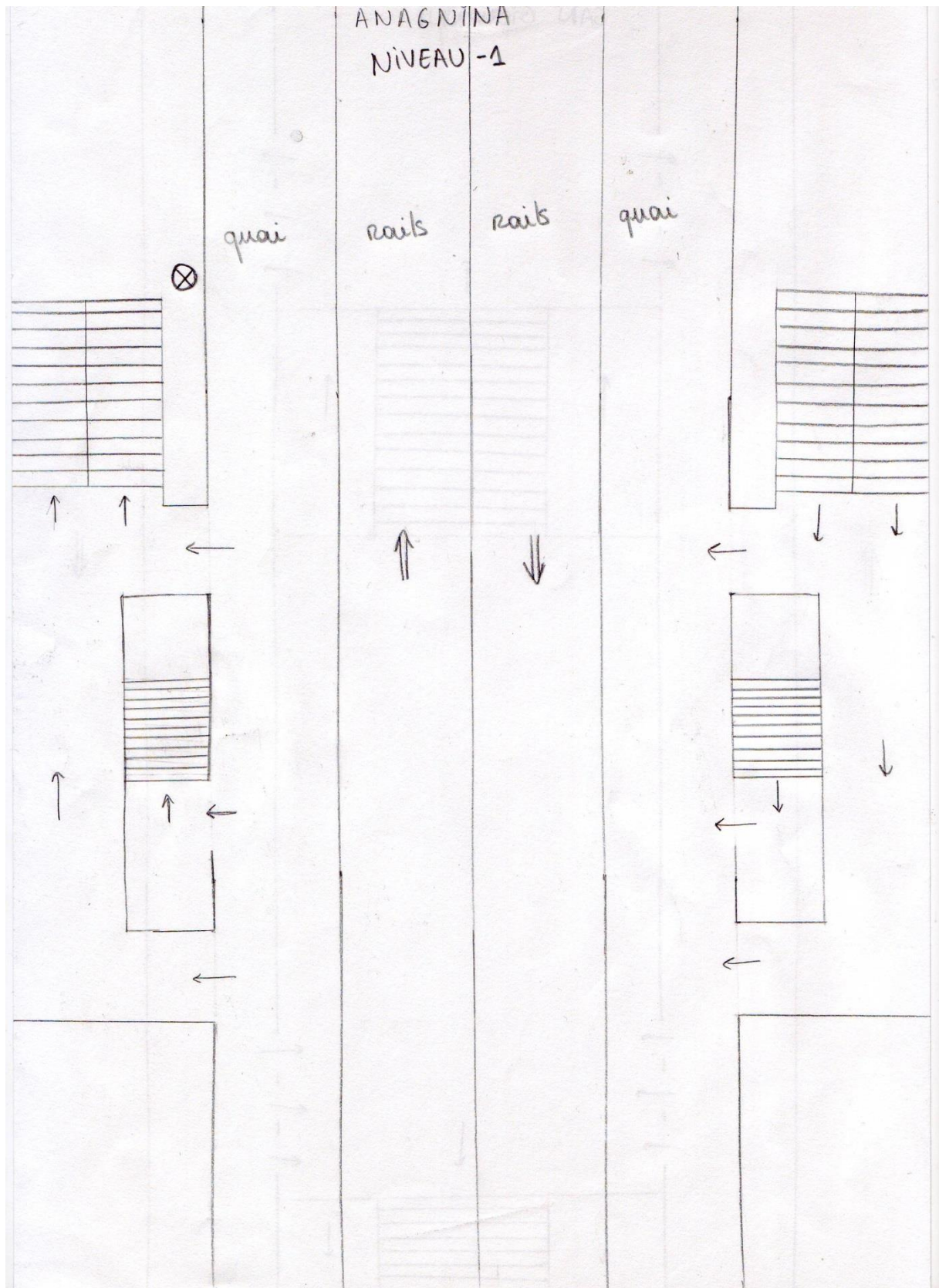
Sur des escaliers, ascendants ou descendants, les moins de 30 ans marchent un peu plus rapidement que les personnes d'âge moyen, marchant eux-mêmes un peu plus vite que les plus de 60 ans. Sur du plat, l'âge n'est pas ressortit comme étant un facteur déterminant dans la vitesse de marche des piétons.

Que ce soit sur des escaliers ou sur du plat, les piétons ayant des bagages, utilisant leur téléphone, parlant avec quelqu'un ou encore portant un enfant sont globalement plus lentes que les autres personnes, et leur présence affectent potentiellement toute la circulation des piétons.

Les résultats de cette étude fournissent une meilleure compréhension des caractéristiques des flux piétonniers. Ils sont nécessaires pour créer des simulations de la circulation des piétons. Ces simulations sont très utilisées pour la construction de projets comme les gares, les aéroports, les stades ou encore les centres commerciaux.

Comprendre comment les piétons évoluent, individuellement ou en groupe, puis créer des simulations, est un grand challenge qui répond aux besoins de nombreux secteurs. Parmi ces secteurs on peut citer l'urbanisme bien sûr, pour concevoir efficacement les installations piétonnes ou les transports en commun, la sécurité, pour simuler des évacuations ou d'autres situations d'urgence, mais aussi le cinéma, pour éviter d'engager de nombreux figurants, ou encore les jeux vidéo, pour peupler au mieux les mondes virtuels.

Annexe 1 : plan de la station Anagnina (Terminus ligne A)



La croix dans le cercle indique l'endroit où nous nous placions pour effectuer nos observations, en haut de l'escalier, au niveau 0.

Annexe 2 : planning des observations

| | 26/06/2017 | 27/06/2017 | 28/06/2017 | 29/06/2017 | 30/06/2017 |
|-------|------------|------------|------------|---------------|------------|
| matin | | | FERIE | Ponte Mommolo | |
| soir | | | FERIE | | |

| | 03/07/2017 | 04/07/2017 | 05/07/2017 | 06/07/2017 | 07/07/2017 |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|
| matin | Tiburtina | Laurentina | | Grève | Anagnina |
| soir | | | | Grève | |

| | 10/07/2017 | 11/07/2017 | 12/07/2017 | 13/07/2017 | 14/07/2017 |
|-------|------------|--------------|---------------|--------------|------------|
| matin | Piramide | San Giovanni | Valle Aurelia | RDV STEFANNO | |
| soir | | | | | |

| | 17/07/2017 | 18/07/2017 | 19/07/2017 | 20/07/2017 | 21/07/2017 |
|-------|-----------------|------------------|----------------|------------|------------|
| matin | Piramide stairs | | Termini stairs | Grève | |
| soir | Piramide stairs | Tiburtina stairs | | Grève | |

| | 24/07/2017 | 25/07/2017 | 26/07/2017 | 27/07/2017 | 28/07/2017 |
|-------|------------|---------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|
| matin | | | | Termini on plane | |
| soir | | Ponte Mamolo stairs | Tiburtina on plane | Ponte Mammolo on plane | Anagnina stairs + on plane |

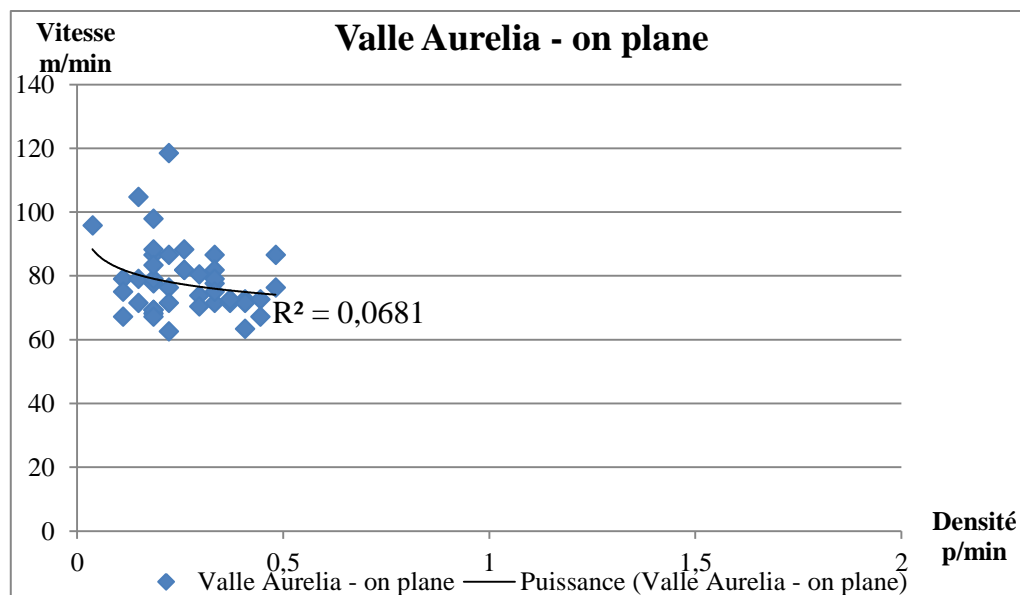
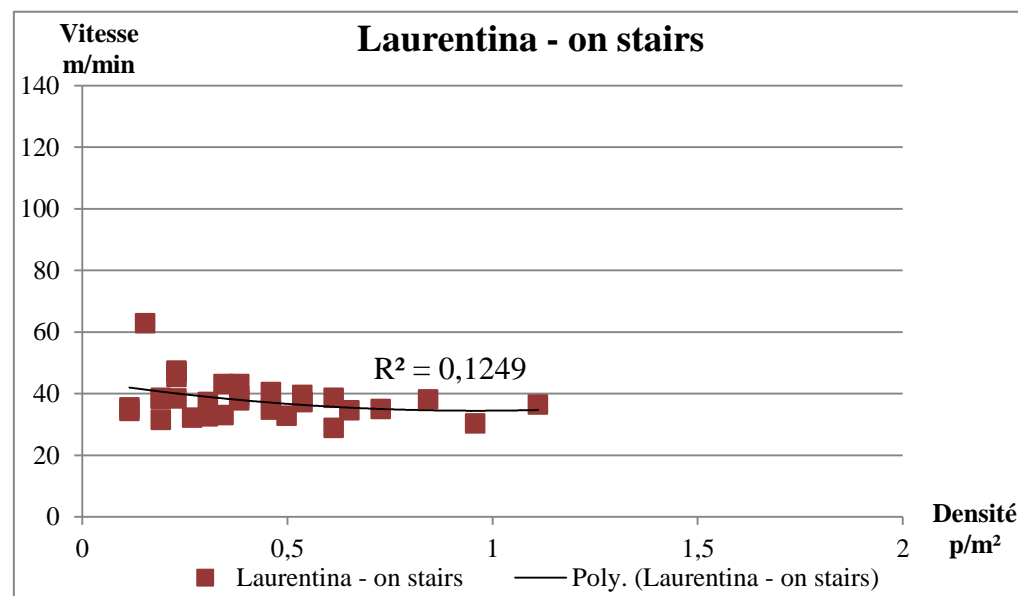
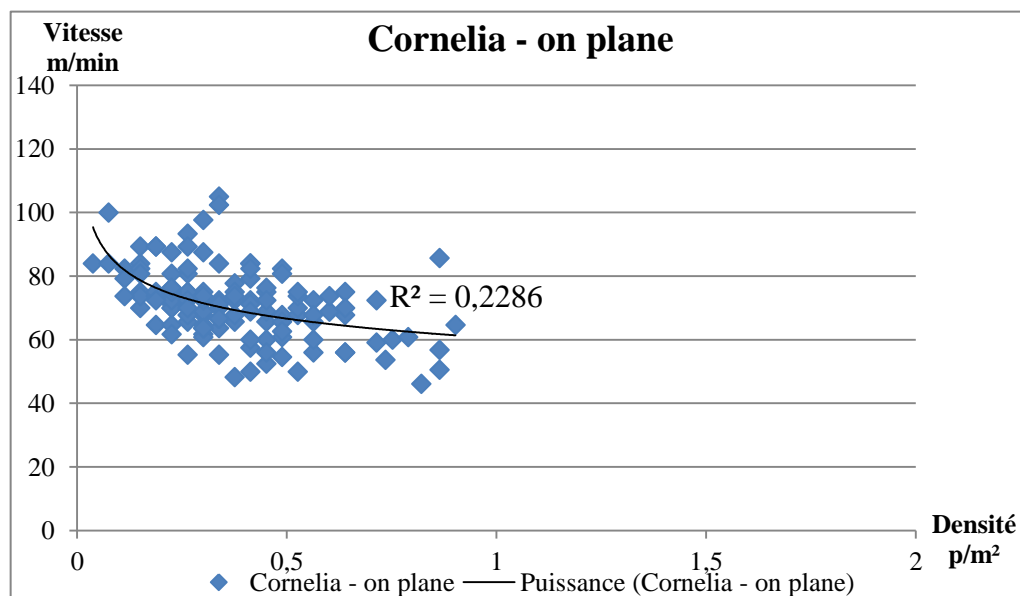
| | 31/07/2017 | 01/08/2017 | 02/08/2017 | 03/08/2017 | 04/08/2017 |
|-------|----------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------------------|
| matin | | | | | RDV MARCO |
| soir | Valle aurelia stairs | Cornelia on plane | Piramide stairs | Laurentina stairs | Tiburtina stairs + on plane |

| | 07/08/2017 | 08/08/2017 | 09/08/2017 | 10/08/2017 | 11/08/2017 |
|-------|-------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------------|
| matin | Piramide on plane | Termini on stairs | Termini stairs + on plane | | |
| soir | Piramide on plane | | Cornelia on plane | Laurentina stairs | Ponte Mammolo stairs + on plane |

Annexe 3 : extrait des données brutes des observations, station Tiburtina, escaliers

| CARACTERISTIQUES ESCALIERS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|-------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|---------------|--------------------|-----|------------|------------|-----|-----|-------|-----|------------------------------------|--|
| LARGEUR (m) | | Nombre de marches | Profondeur des marches (m) | Nombre de plateforme | Longueur de plateforme (m) | LONGUEUR (m) | SURFACE | MONTANT/DESCENDANT | | | | | | | | | |
| 2,5 | | 31 | 0,3 | 1 | 1,2 | 10,5 | 26,25 | DESCENDANT | | | | | | | | | |
| DATE | Heure | N° de la mesure du jour | Q | Temps total | Temps (s) | Nombre de personnes | VITESSE m/min | DENSITE p/m² | Q | D moy | D max | H/F | <30 | 30-60 | >60 | Portable/ Bagage/ Lent/ Rapide ... | |
| 04-août | 17h32 | 1 | 87 | 68 | 11,8 | 20 | 53,38983051 | 0,761904762 | | | | H | 1 | | | | |
| 04-août | | 1 | 87 | 68 | 18,5 | 21 | 34,05405405 | 0,8 | 87 | 0,82539683 | 0,91428571 | F | | 1 | | | |
| 04-août | | 1 | 87 | 68 | 16,1 | 24 | 39,13043478 | 0,914285714 | | | | F | 1 | | | | |
| 04-août | 17h43 | 2 | 142 | 103 | 16,8 | 26 | 37,5 | 0,99047619 | | | | H | 1 | | | | |
| 04-août | | 2 | 142 | 103 | 16,5 | 33 | 38,18181818 | 1,257142857 | | | | F | 1 | | | | |
| 04-août | | 2 | 142 | 103 | 10,7 | 17 | 58,87850467 | 0,647619048 | 142 | 0,92952381 | 1,25714286 | H | 1 | | | R | |
| 04-août | | 2 | 142 | 103 | 17,1 | 24 | 36,84210526 | 0,914285714 | | | | F | 1 | | | | |
| 04-août | | 2 | 142 | 103 | 16,3 | 22 | 38,85030675 | 0,838095238 | | | | H | | 1 | | | |
| 04-août | 17h56 | 3 | 140 | 93 | 15 | 27 | 42 | 1,028571429 | | | | H | | 1 | | | |
| 04-août | | 3 | 140 | 93 | 15,9 | 25 | 39,62264151 | 0,952380952 | | | | F | 1 | | | | |
| 04-août | | 3 | 140 | 93 | 18,3 | 28 | 34,42622951 | 1,066666667 | 140 | 1,02095238 | 1,21904762 | H | | | 1 | | |
| 04-août | | 3 | 140 | 93 | 19,5 | 32 | 32,30769231 | 1,219047619 | | | | H | | 1 | | | |
| 04-août | | 3 | 140 | 93 | 25,1 | 22 | 25,0960159 | 0,838095238 | | | | F | 1 | | | P | |
| 04-août | 18h05 | 4 | 98 | 73 | 17,6 | 31 | 35,79545455 | 1,180952381 | | | | H | | 1 | | | |
| 04-août | | 4 | 98 | 73 | 14,2 | 24 | 44,36619718 | 0,914285714 | 98 | 0,85714286 | 1,18095238 | H | 1 | | | | |
| 04-août | | 4 | 98 | 73 | 16,9 | 24 | 37,27810651 | 0,914285714 | | | | H | | 1 | | | |
| 04-août | | 4 | 98 | 73 | 15,4 | 11 | 40,90909091 | 0,419047619 | | | | H | | 1 | | | |
| 04-août | 18h25 | 5 | 141 | 91 | 11,5 | 23 | 54,7826087 | 0,876190476 | | | | H | | 1 | | | |
| 04-août | | 5 | 141 | 91 | 19 | 31 | 33,15789474 | 1,180952381 | | | | F | | 1 | | | |
| 04-août | | 5 | 141 | 91 | 18,6 | 37 | 33,87096774 | 1,40952381 | 141 | 1,03619048 | 1,40952381 | F | 1 | | | | |
| 04-août | | 5 | 141 | 91 | 17,5 | 26 | 36 | 0,99047619 | | | | F | 1 | | | | |
| 04-août | | 5 | 141 | 91 | 17,7 | 19 | 35,59322034 | 0,723809524 | | | | F | 1 | | | | |
| 04-août | 19h15 | 6 | 99 | 68 | 22,2 | 35 | 28,37837838 | 1,333333333 | 99 | 1,33333333 | 1,33333333 | F | 1 | | | P | |
| 04-août | | | | | | | | | | | | F | | | 1 | | |
| 04-août | | | | | | | | | | | | F | 1 | | | | |
| 04-août | 19h26 | 7 | 94 | 68 | 10,7 | 14 | 58,87850467 | 0,533333333 | | | | H | | 1 | | | |
| 04-août | | 7 | 94 | 68 | 14,9 | 22 | 42,28187919 | 0,838095238 | 94 | 0,73333333 | 0,83809524 | H | 1 | | | | |
| 04-août | | 7 | 94 | 68 | 12,7 | 20 | 49,60629921 | 0,761904762 | | | | H | 1 | | | | |
| 04-août | | 7 | 94 | 68 | 16,5 | 21 | 38,18181818 | 0,8 | | | | H | 1 | | | | |
| 04-août | 19h40 | 8 | 80 | 81 | 17,7 | 19 | 35,59322034 | 0,723809524 | | | | F | 1 | | | | |
| 04-août | | 8 | 80 | 81 | 10,1 | 9 | 62,37623762 | 0,342857143 | | | | H | 1 | | | R | |
| 04-août | | 8 | 80 | 81 | 15,5 | 17 | 40,64516129 | 0,647619048 | 80 | 0,48888889 | 0,72380952 | H | | 1 | | B | |
| 04-août | | 8 | 80 | 81 | 14,6 | 16 | 43,15068493 | 0,60952381 | | | | H | 1 | | | | |
| 04-août | | 8 | 80 | 81 | 10,3 | 7 | 61,16504854 | 0,266666667 | | | | H | 1 | | | | |
| 04-août | | 8 | 80 | 81 | 13,9 | 9 | 45,32374101 | 0,342857143 | | | | H | | 1 | | | |

Annexe 4 : relation vitesse-densité, *on plane* ou *on stairs*



| Station | Equipement | Régression | Corrélation | Equation |
|---------------|---------------|-------------|-------------------------|---|
| Cornelia | plat | puissance | R ² = 0,2286 | y = 60,52x ^{-0,139} |
| Valle Aurelia | plat | puissance | R ² = 0,0681 | y = 70,475x ^{-0,069} |
| Laurentina | esc ascendant | polynomiale | R ² = 0,1249 | y = 10,538x ² - 20,228x + 44,185 |

Annexe 5 : tableau

| Age | H/F | N | Vmoy (m/min) |
|-----|-----|-----|--------------|
| J | H | 57 | 76,99 |
| | F | 74 | 74,55 |
| M | H | 105 | 78,18 |
| | F | 98 | 72,66 |
| A | H | 20 | 79,95 |
| | F | 14 | 71,88 |

Tableau : vitesses moyennes de marche des piétons selon leur âge et leur genre, sur du plat, toutes stations confondues

Bibliographie

ALHASSAN Hashim Mohammed, MASHROS Nordiana. Modelling of pedestrian speed-density and volume-density relationships in outdoor walkways. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, Vol. 73, n°4, 2015, p. 91-97

GUPTA Ankit, PUNDIR Nitin. *Pedestrian flow characteristics studies : a review*. Transport Reviews, Vol. 35, n°4, 2015, p. 445-465

PATRA Monalisa, SALA Eswar, RAVISHANKAR K.V.R. *Evaluation of pedestrian flow characteristics across different facilities inside a railway station*. Transportation research Procedia, Vol. 25, 2017, p. 4763-4770

RASTOGI Rajat, ILANGO T., CHANDRA Satish. *Pedestrian flow characteristics for different pedestrian facilities and situations*. European Transport, Issue 53, 2013, Paper 6

SHAH Jiten, JOSHIB G.J., PARIDA Purnima. *Behavioral characteristics of pedestrian flow on stairway at railway station*. Procedia – Social and Behavioral Sciences, Vol. 104, 2013, p. 688-697

SHAH Jiten, GAURANG Joshi, PARIDA Purnima, SHRINIWAS Arkatkar. *Analysis of commuter flow behaviour on stairways at metropolitan transit station in Mumbai, India*. International Journal for Traffic & Transport Engineering, Vol. 5 Issue 4, 2015, p. 451-457

MOUSSAID Mehdi. Comment les piétons marchent dans la foule. *La Recherche*, Mars 2011, n°450, p. 56-59

WANG W.L., LO S.M., LIU S.B., MA J. *On the use of a pedestrian simulation model with natural behavior representation in metro stations*. Procedia Computer Science, Vol. 52, 2015, p. 137-144

Liste des tableaux

| | | |
|--------------|--|------|
| Tableau 1 : | Type de collecte pour chaque station étudiée | p 14 |
| Tableau 2 : | Données, protocole on stairs | p 15 |
| Tableau 3 : | Données, protocole on plane | p 15 |
| Tableau 4 : | Critères de classification des caractéristiques des piétons | p 16 |
| Tableau 5 : | Caractéristiques des escaliers étudiés | p 16 |
| Tableau 6 : | Piramide, densité moyenne et maximale pour chaque flux | p 17 |
| Tableau 7 : | Caractéristiques des modélisations | p 19 |
| Tableau 8 : | Caractéristiques des modélisations, sur du plat et des escaliers | p 21 |
| Tableau 9 : | Caractéristiques des modélisations à Termini | p 23 |
| Tableau 10 : | Vitesses moyennes sur les différents équipements, toutes stations confondues | p 25 |
| Tableau 11 : | Vitesses moyennes de marche des hommes et des femmes sur des escaliers ascendants ou descendants, selon les stations étudiées | p 29 |
| Tableau 12 : | Vitesses moyennes de marche des hommes et des femmes sur des escaliers ascendants et descendants, toutes stations confondues | p 29 |
| Tableau 13 : | Vitesses moyennes de marche des hommes et des femmes dans des escaliers, toutes stations confondues | p 29 |
| Tableau 14 : | Vitesses moyennes de marche des piétons selon leur âge et leur genre dans des escaliers ascendants ou descendants, selon les stations étudiées | p 30 |
| Tableau 15 : | Vitesses moyennes de marche des piétons selon leur âge dans des escaliers, toutes stations confondues | p 31 |
| Tableau 16 : | Vitesses moyennes de marche des piétons selon leur âge et leur genre dans des escaliers, toutes stations confondues | p 31 |
| Tableau 17 : | Vitesses moyennes de marche des hommes et des femmes sur des escaliers ascendants ou descendants, selon les stations étudiées | p 32 |
| Tableau 18 : | Vitesses moyennes de marche des piétons selon leur âge et leur genre, sur du plat, selon les stations étudiées | p 34 |

Liste des graphiques

| | | |
|----------------|---|------|
| Graphique 1 : | Vitesse et nombre de piétons en fonction de la densité, sur des escaliers | p 10 |
| Graphique 2 : | Vitesse des piétons en fonction de la densité, sur du plat et des escaliers | p 11 |
| Graphique 3 : | Densité des piétons en fonction de la largeur d'escaliers | p 11 |
| Graphique 4 : | Modélisations $Q=f(D)$ – densités moyennes et maximales | p 18 |
| Graphique 5 : | Nombre de personnes en fonction de la densité max, Piramide, Ponte Mammolo, Laurentina | p 18 |
| Graphique 6 : | Nombre de personnes en fonction de la densité max, Tiburtina, Anagnina, Termini 1, Termini 2 | p 19 |
| Graphique 7 : | Station Piramide, vitesse de marche sur des escaliers en fonction de la densité | p 20 |
| Graphique 8 : | Station Tiburtina, vitesse de marche sur des escaliers en fonction de la densité | p 20 |
| Graphique 9 : | Station Ponte Mammolo, vitesse de marche sur des escaliers en fonction de la densité | p 21 |
| Graphique 10 : | Station Anagnina, vitesse de marche sur des escaliers en fonction de la densité | p 21 |
| Graphique 11 : | Termini Escalier 1, vitesse en fonction de la densité | p 22 |
| Graphique 12 : | Termini, vitesse en fonction de la densité, sur du plat et deux escaliers | p 22 |
| Graphique 13 : | Termini, vitesse en fonction de la densité, sur du plat et deux escaliers, courbes moyennes | p 23 |
| Graphique 14 : | Ecart-type des vitesses en fonction de la densité, Piramide, Ponte Mommolo, Laurentina, Termini 1 | p 24 |
| Graphique 15 : | Ecart-type des vitesses en fonction de la densité, Tiburtina, Termini 2, Anagnina | p 24 |
| Graphique 16 : | Vitesses moyennes de marche dans des escaliers des hommes et des femmes en fonction de leur âge, toutes stations confondues | p 31 |
| Graphique 17 : | Vitesses moyennes des hommes et des femmes sur du plat, par station | p 33 |
| Graphique 18 : | Vitesses moyennes de marche des piétons selon leur âge et leur genre, sur du plat, toutes stations confondues | p 34 |