

MOTUS :

CALAGE D'UN MODELE DE POURSUITE SIMPLE SUR DES DONNEES DE TRAJECTOIRES

ANTOINE LOHOU – LOÏC REYES

14 MARS 2016

CONTEXTE

Le sujet du TP porte sur l'étude des données de trajectoires individuelles de véhicules recueillies pour le projet NGSim.



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude en question est une portion de l'autoroute américaine I80 située à Emeryville en Californie. Cette section d'autoroute comporte 2*6 voies de circulation. Une voie d'insertion est localisée au début de la zone d'étude. La figure 1, une vue aérienne de la portion d'autoroute, détaille la position géographique de l'infrastructure de transport.

À l'aide de six caméras disposées au sommet d'un immeuble, des mesures ont été réalisées sur un échantillon initial de 3366 véhicules sur une durée de 1000 secondes. Le tableau après écrémage de données ne contient plus que 2052 véhicules.

L'objectif du TP est dans un premier temps de représenter et analyser les données des véhicules. Il s'agit ensuite de simuler des trajectoires à l'aide du modèle de poursuite proposé, celui de Newell. Finalement, la dernière partie consiste à caler le modèle, en modifiant certains paramètres, de manière à ce qu'il soit le plus proche de la réalité.

PARTIE 1 : OBSERVATION DES TRAJECTOIRES

Quelles sont les variables auxquelles vous avez accès ?

Les données contenues dans le fichier Data.mat contiennent les informations dans l'ordre suivant :

- Le numéro du véhicule
- L'instant de la prise de vue en secondes
- La position du véhicule suivant l'axe y en mètres
- La position du véhicule suivant l'axe x en mètres
- Le numéro de la voie sur laquelle circule le véhicule à cet instant

A l'aide de calculs, il est possible de disposer de renseignements supplémentaires comme la vitesse instantanée du véhicule ou encore la distance inter-véhiculaire.

```
%%% Q : utilisez les éléments de code ci-dessous pour faire des figures
%%% répondant aux critères de présentation standard (càd : légendes des axes
%%% et des données, ce qui va au-delà du code que vous avez sous la main)
%%% pour représenter les trajectoires de différentes manières.
%%% Utilisez le plan (x,y) et le plan (x,t).
%%% Que constatez-vous sur les changements de voies ? Comment
%%% peut-on les compter ? Pensez-vous que l'on puisse accorder une foi
%%% complète à la détermination de la voie et/ ou à la mesure de y ?
```

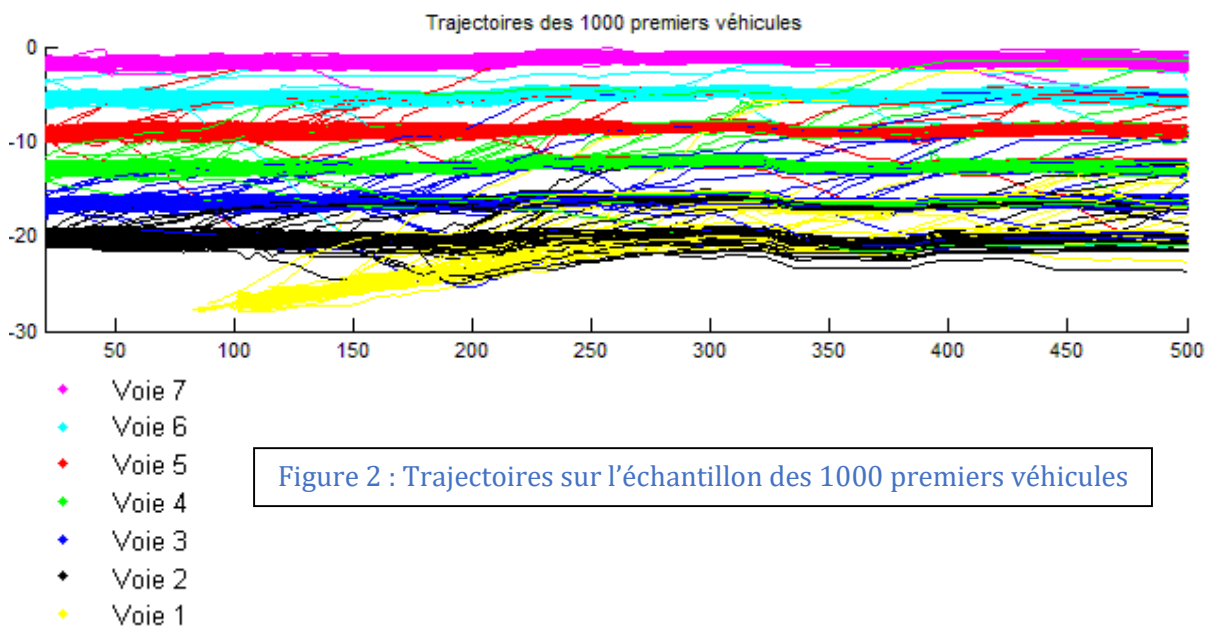


Figure 2 : Trajectoires sur l'échantillon des 1000 premiers véhicules

A l'aide de Matlab et du code fourni, un échantillon de 1000 véhicules a été sélectionné pour représenter dans le plan (x,y) la trajectoire des différents véhicules. Une couleur est attribuée à un véhicule en fonction de la voie sur laquelle il circule sur la portion d'autoroute lors de son entrée. De manière intuitive, on constate que le phénomène de changement de voies est prononcé sur la section d'étude. La figure ci-dessus de par témoigne ainsi d'un changement de trajectoires important des véhicules de par les nombreux croisements de trajectoires.

Les changements de voies se manifestent plus particulièrement sur les voies à proximité de la voie d'insertion. La voie 7 située le plus à l'intérieur de l'infrastructure quant à elle semble épargnée par ce phénomène-là.

L'explication logique à l'origine de ces changements de voies en grand nombre réside selon toute vraisemblance dans le fait que la voie d'insertion induit une réduction de l'offre. Ceci amène à la création d'une congestion que les véhicules cherchent à éviter en changeant de voies afin d'optimiser leur temps de parcours. Le phénomène s'estompe légèrement au fur et à mesure de l'éloignement de la voie considérée par rapport à la voie d'insertion. Un autre point important concernant la voie de circulation numéro 7 est que le marquage au sol d'un « \diamond » signale que cette dernière est réservée au covoiturage. Cet élément en plus du raisonnement précédent révèle pourquoi cette voie de circulation est peu affectée par le phénomène de changement de voies.

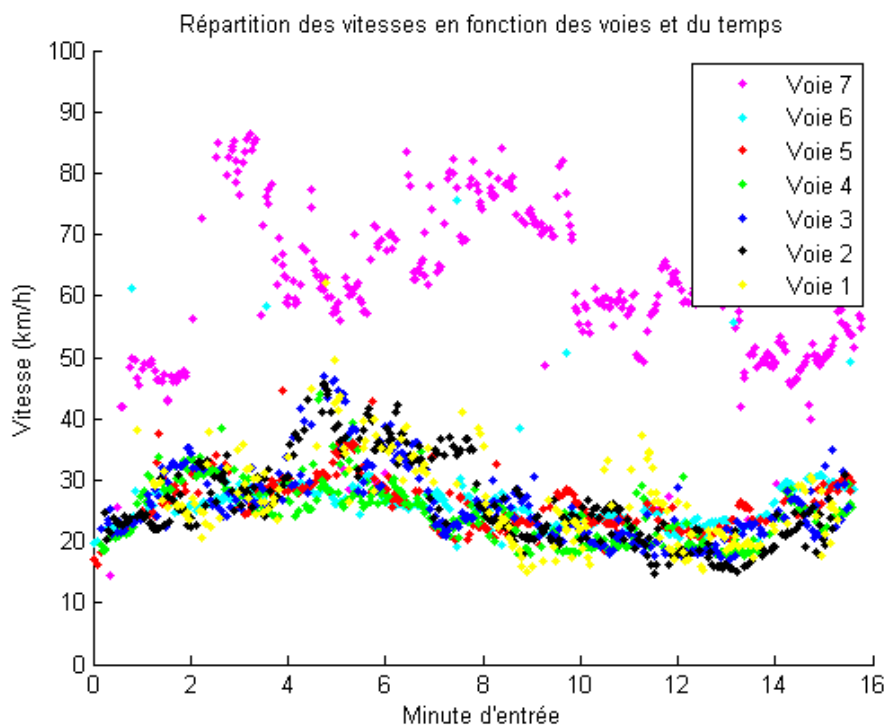


Figure 3 : Vitesse moyenne en fonction de la voie et du temps

La figure 3 vient confirmer que les véhicules circulant sur la voie 7 ne sont pas particulièrement impactés par le phénomène de changement de voies. En effet, la vitesse de circulation est largement supérieure à celle des autres voies, de l'ordre de 60km/h. Il peut être souligné que la vocation de la voie réservée à fluidifier les conditions de circulation pour ceux empruntant cette voie est respectée. Les voies 2 à 6 ainsi que la voie d'insertion présentent des vitesses inférieures à 40km/h sur une autoroute. Ces mesures illustrent la congestion liée à la fois à la réduction de l'offre par la suppression d'une voie et les changements de voies fréquents.

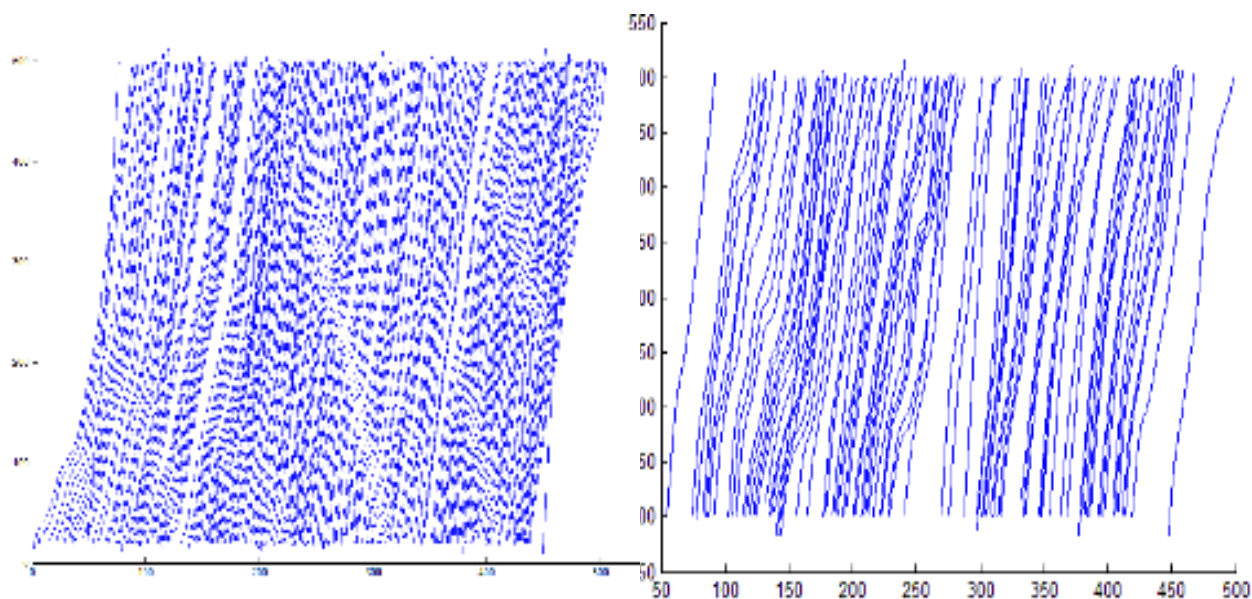


Figure 4 : Diagramme (x,t) de la voie de circulation 2 et 7

Les figures 4 et 5 ci-contre permettent une comparaison entre la voie de circulation numéro 2 qui est la voie la plus extérieure de l'autoroute fortement impactée par la voie d'insertion et la voie 7 qui est de son côté réservée au covoiturage et peu affectée par le phénomène de changements de voies.

Dans un premier temps du point de vue du nombre de véhicules, il est aisé de constater qu'une quantité moins importante de véhicules circulent sur la voie 7 que sur la voie 2. Ensuite au niveau de la congestion, contrairement à ce qui pouvait être interprété précédemment l'ensemble des voies de circulations subissent le phénomène de congestion. La congestion semble toutefois plus marquée sur la voie de circulation 2 puisque les remontées de congestion sont clairement visibles alors que sur la voie de circulation 7, des ralentissements sont occasionnellement constatés. Les ralentissements se caractérisent notamment par une augmentation de l'inclinaison des courbes, rapprochement vers l'horizontale. L'étude a donc été menée lors d'une phase de congestion sur l'infrastructure de transport.

Pour compter les différents changements de voies, un programme Matlab a été rédigé (*Annexe 1*). Il s'agit d'une boucle qui par itération vérifie si entre deux instants consécutifs un véhicule se trouve sur la même voie que précédemment. Le résultat obtenu est le suivant : un total de 1043 changements de voies se produisent sur la durée de l'expérimentation et 670 véhicules sont concernés par un changement de voies. Les interprétations précédentes sont confirmées par ces informations. En effet, le phénomène de changements de voies est très prononcé sur cette infrastructure de transport puisqu'un tiers des véhicules est amené à changer de voies sur le tronçon de 500 mètres et ces derniers effectuent en moyenne 1.55 changements de voies.

La question de la fiabilité de la détermination de la voie sur laquelle circule un véhicule est un enjeu crucial dans ce problème. Certaines interrogations de notre part restent sans réponse comme la localisation du point de mesure sur le véhicule ou encore la manière dont est interprétée le chevauchement d'un véhicule sur deux voies de circulation. Néanmoins, selon toute vraisemblance les personnes à l'origine de l'expérience ont pris des hypothèses simplificatrices afin de sélectionner les véhicules dont les résultats étaient les plus probants. C'est probablement pour cela que le nombre de véhicules ne correspond pas au numéro du dernier véhicule enregistré.

%%% Q : Calculez la vitesse moyenne individuelle en comparant les dates d'entrée et de sortie, et les positions d'entrée et de sortie.
 %%% Quelle est l'évolution de cette valeur au cours du temps ?
 %%% Voyez-vous des différences entre les voies ? Comment les expliquez-vous ?
 %%% Q Calculez le temps de parcours des véhicules en considérant qu'ils parcourent tous la même longueur dans la section. Représentez ce temps de parcours en fonction de leur date d'entrée et de leur date de sortie.
 %%% Que constatez-vous ?

Pour calculer la moyenne de la vitesse individuelle d'un véhicule, la formule est la suivante :

$$V_{\text{moyenne}} = (X_{\text{final}} - X_{\text{initial}}) / (t_{\text{final}} - t_{\text{initial}})$$

X : position suivant l'axe x

t : instant mesuré

La figure 3 présente la vitesse moyenne sur les différentes voies de circulation en fonction du moment considéré. Ainsi, cette dernière diffère suivant la voie de circulation comme détaillé plus haut. En plus de cela, la vitesse moyenne au sein d'une voie de circulation fluctue au cours de l'expérimentation. L'échantillon temporel n'est pas suffisant pour se prononcer toutefois la courbe formée par les différentes valeurs d'une même voie semble sinusoïdale.

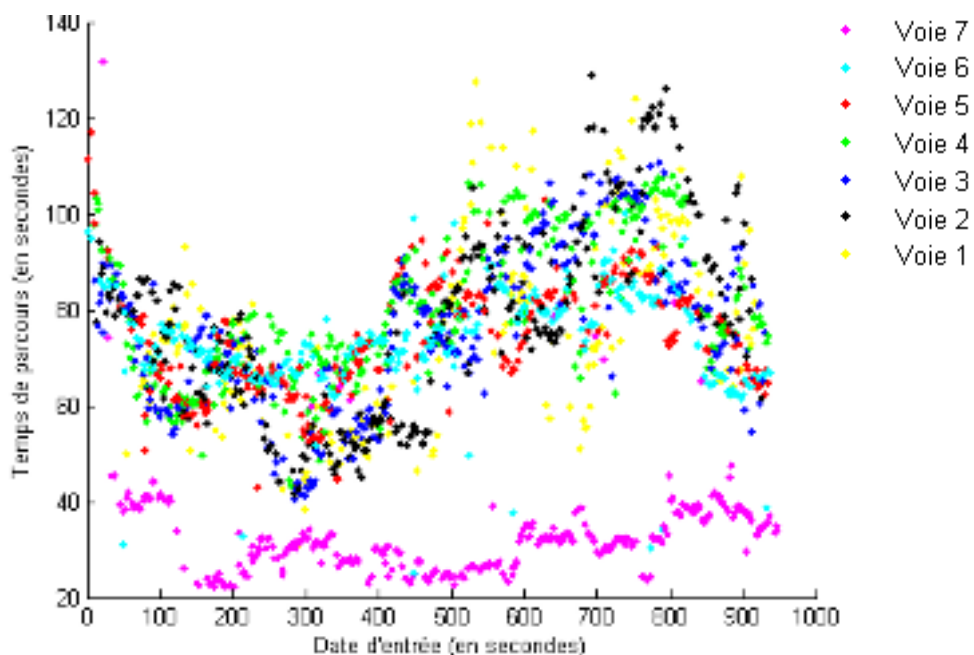


Figure 5 : Temps de parcours moyen sur les différentes voies de circulation

Avec la relation inversement proportionnelle liant la vitesse au temps de parcours, le résultat suivant est parfaitement logique. Les véhicules qui circulent plus rapidement sur la voie 7 de covoiturage mettent moins de temps pour parcourir la section d'étude que les véhicules affectés par la congestion sur les autres voies.

PARTIE 2 : SIMULATION DE TRAJECTOIRES DE PAIRES DE VEHICULES SE SUIVANT CONTINUENT PENDANT TOUTE LA TRAVERSEE DE LA SECTION

% Zoomez sur la figure à l'aide des outils de l'interface.
% Comment expliquez-vous les croisements de trajectoires ?

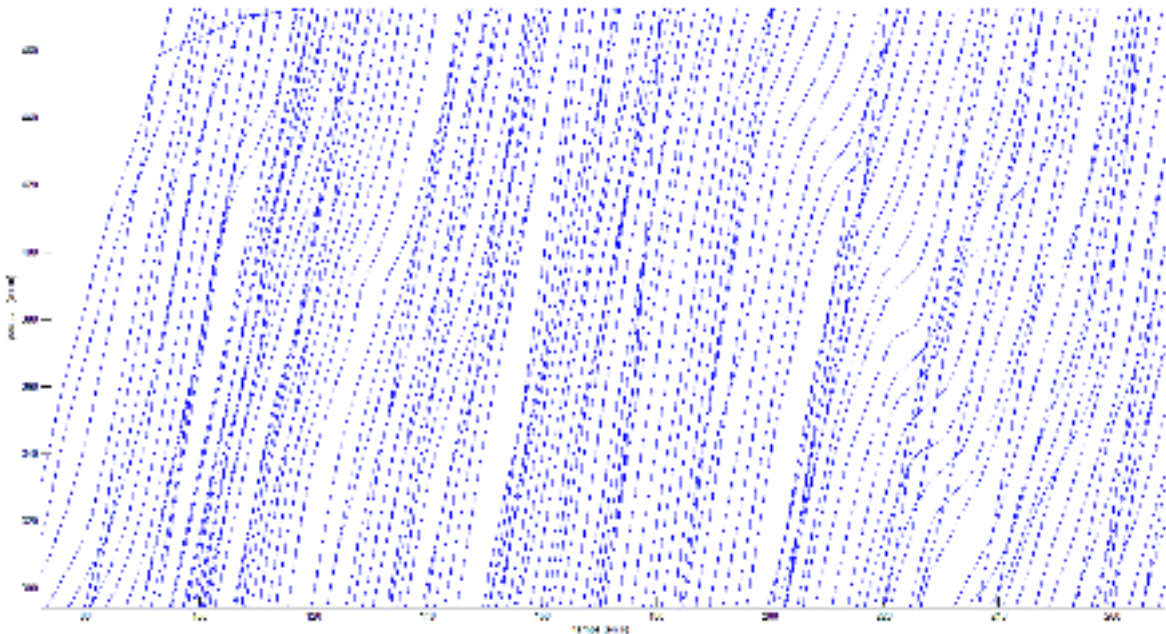


Figure 6 : Zoom sur le diagramme (x,t) de la voie 2

Le graphique permet de constater que le programme trace des trajectoires qui n'ont pas l'air cohérentes puisqu'elles se croisent. En pratique, le code sélectionne les véhicules qui passent à un moment sur la voie de circulation numéro 2 et dessine la trajectoire correspondante sans se préoccuper du fait que le véhicule puisse changer de voie de circulation. Ainsi un véhicule qui se déporte sur une autre voie et double le véhicule qui le devançait précédemment donnera lieu à un croisement de trajectoire.

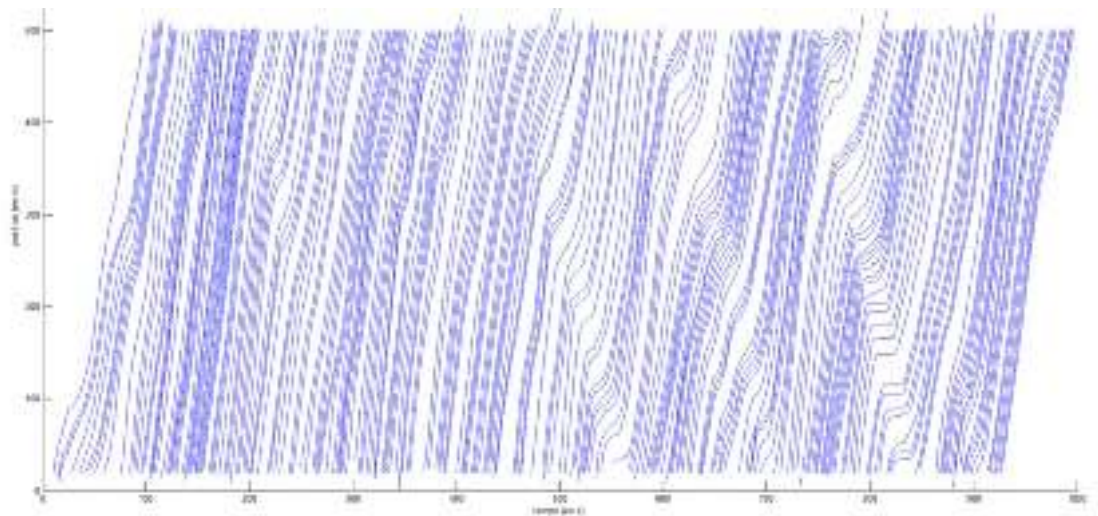


Figure 7 : Diagramme (x,t) de la voie 2 « nettoyé »

La figure 7 montre le résultat lorsque seuls les véhicules se maintenant sur la voie de circulation numéro 2 sont sélectionnés. Ainsi les croisements de trajectoires des véhicules ont disparu.

%%% Question, pouvez-vous établir un lien entre vitesse et distance au leader à partir d'une analyse de cette figure ?
%%% Comment expliquez-vous la différence avec ce qui est dit dans l'énoncé sur la transposition du diagramme fondamental macroscopique en représentation microscopique.

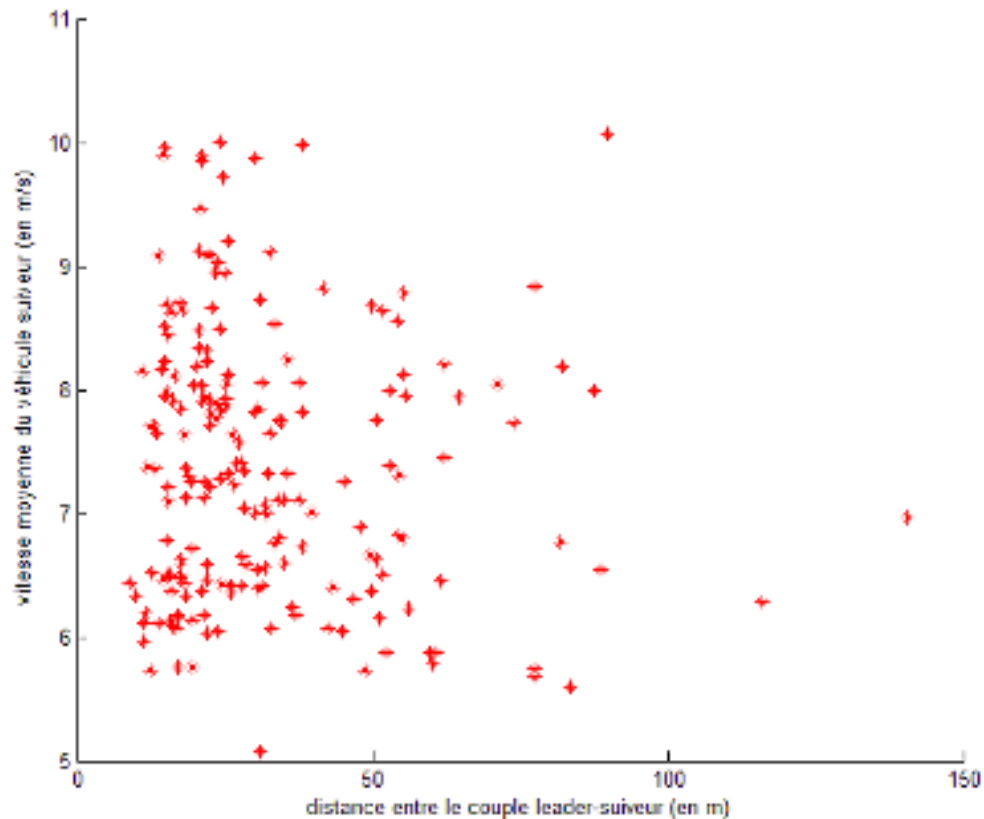


Figure 8 : Distance inter-véhiculaire en fonction de la vitesse moyenne du véhicule suiveur

De manière intuitive, lorsque la vitesse de circulation est élevée une distance de sécurité plus importante est recommandée. Il semble aux premiers abords qu'une relation lie les deux paramètres de la vitesse et de la distance inter-véhiculaire. Toutefois, les résultats mesurés sur le terrain montrent qu'il n'y a sensiblement pas de corrélation entre ces deux facteurs. Le nuage de points obtenu ne permet pas d'établir ce lien intuitif. En pratique, il semble que les conducteurs ne respectent pas véritablement les distances de sécurité.

Dans ce modèle de poursuite simple, on considère ainsi que le suiveur adapte sa vitesse en fonction de celle de son unique leader. Toutefois, certains éléments sont omis et permettent ainsi de mieux comprendre pourquoi les résultats diffèrent de ce qui est proposé dans l'énoncé. Le comportement du conducteur est logique selon le modèle et calqué sur celui qui le devance. En réalité les comportements de conduite des conducteurs dépendent fortement de l'individu considéré. Ensuite le suiveur et le leader sont isolés dans le modèle comme s'ils n'étaient pas en interaction avec l'infrastructure de transport. En pratique, le comportement des autres conducteurs ainsi que l'environnement sont à prendre en compte dans l'explication de la conduite

d'un seul individu. Un autre élément important à souligner est la durée de l'expérimentation relativement réduite. Cette dernière ne permet pas une représentativité fidèle de l'échantillon et peut ainsi biaiser les résultats. Ces informations fournissent une explication plausible et possible quant à la différence observée entre le modèle et la réalité.

PARTIE 2 : CALAGE D'UN MODELE DE POURSUITE SUR DES TRAJECTOIRES DE VEHICULES SE SUIVANT

%%% Q : utilisez d'autres paramètres et faites tourner le code de nouveau.
%%% Que constatez-vous ?
%%% Q : est-ce le même constat si vous changez de véhicule ?

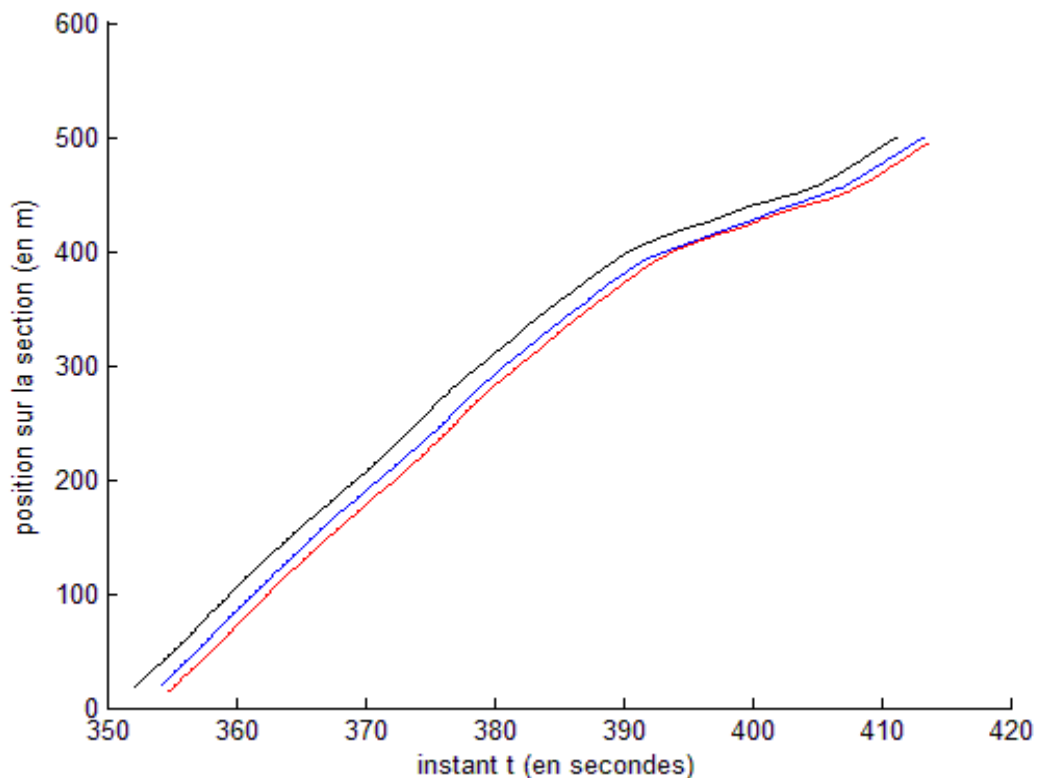


Figure 9 : Modélisation de poursuite à l'aide du modèle de Newell pour le véhicule 75

Le graphique suivant propose trois courbes qui sont la trajectoire du véhicule leader en noir, la trajectoire du véhicule suiveur en bleu et celle de la modélisation de la trajectoire du véhicule suiveur en rouge. L'objectif à atteindre est celui de faire coïncider le modèle avec la réalité quant à la trajectoire du véhicule suiveur.

Les paramètres modifiables sur la feuille de calcul permettent de translater la courbe du modèle dans la direction horizontale ainsi que verticale. Le premier résultat obtenu après l'exécution du code correspond à la figure 9 située ci-dessus. La courbe du modèle ne concorde pas parfaitement avec les mesures de la trajectoire du véhicule sélectionné.

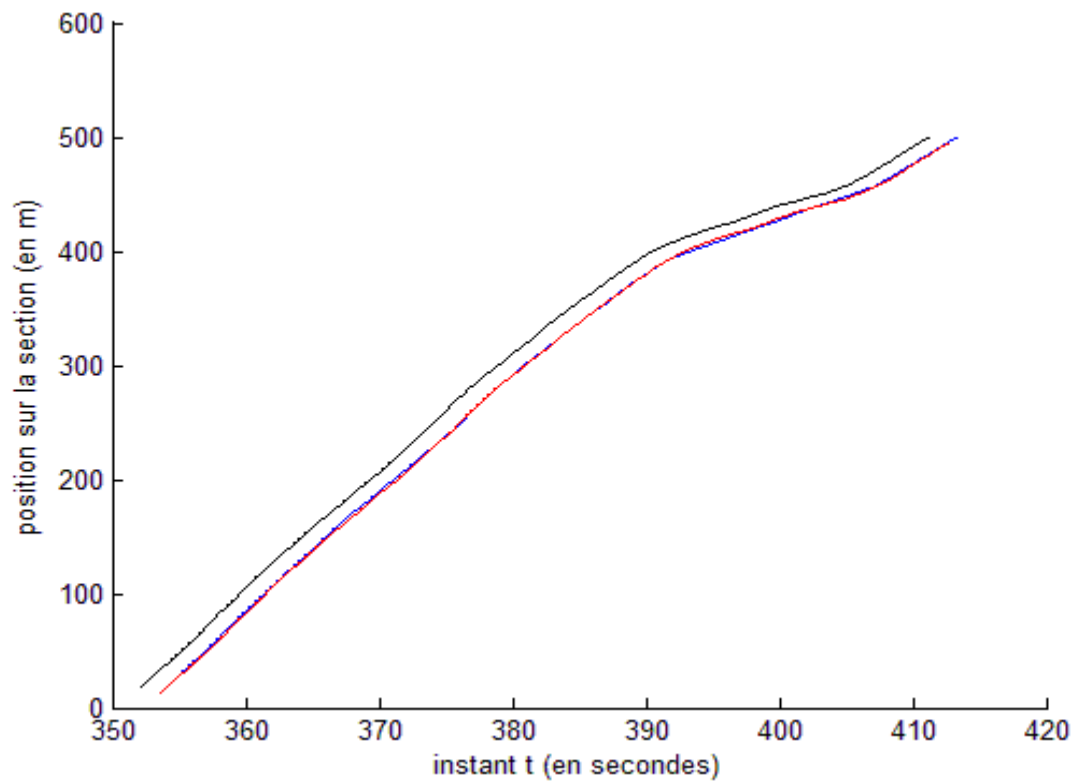


Figure 10 : Modélisation de poursuite pour le véhicule 75 après changement des paramètres

La modification des paramètres dans le programme pour le véhicule 75 a permis la superposition des courbes de la trajectoire du modèle et des données enregistrées sur le terrain.

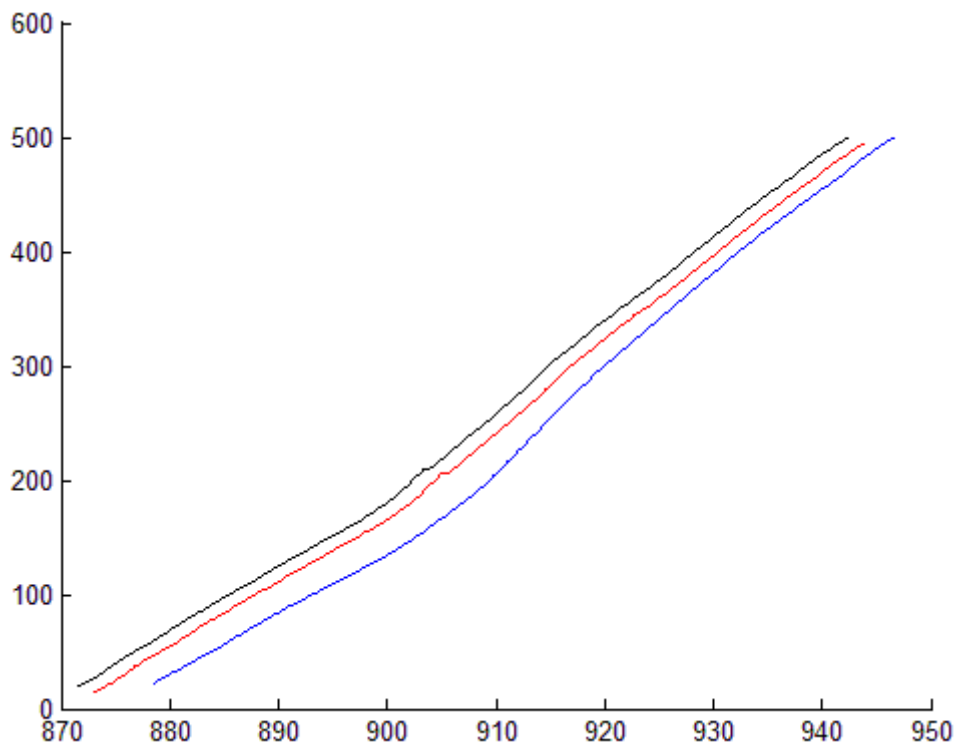


Figure 11 : Modélisation de poursuite pour le véhicule 184 après changement des paramètres

Il est possible de constater qu'un modèle pertinent et fiable pour un véhicule défini ne s'adapte pas nécessairement aux trajectoires d'autres véhicules. Ainsi la figure 11 témoigne de ce phénomène pour le véhicule 184. Le résultat du modèle de poursuite ne correspond pas à la réalité. La raison réside en partie dans le fait que le véhicule suiveur est relativement éloigné du véhicule leader. L'hypothèse prise pour la sélection des couples leader-suiveur est potentiellement insuffisante pour que le modèle fonctionne pour l'ensemble des valeurs sélectionnées.

Ainsi des paramètres optimaux pour un couple suiveur-leader ne le sont pas forcément pour d'autres couples. L'enjeu est donc de trouver un compromis dans le choix de la valeur des paramètres afin de minimiser l'erreur sur l'ensemble des données expérimentales. Il faut à partir d'une partie du jeu de données disponibles caler le modèle, ce qui a été fait avec un certain nombre de véhicules et ensuite vérifier avec l'autre partie pour le valider.

TPas=10;
% Nombre de pas de temps pour le calcul de la vitesse instantanée
%%% Question : testez l'impact de cette valeur.

En modifiant la valeur du pas, l'intérêt est de lisser plus ou moins la vitesse instantanée d'un véhicule. Si on prend un nombre de pas de temps plus important, l'enjeu est d'obtenir une courbe des vitesses instantanées « lissée » puisqu'elle s'appuie sur plus de valeurs contrairement à un faible nombre de pas de temps.

PARTIE 3.1 : CALAGE DU MODELE DE POURSUITE DE NEWELL

Choisissez une variable de calage (MoP) : position, vitesse, ou accélération du suiveur. Justifiez.

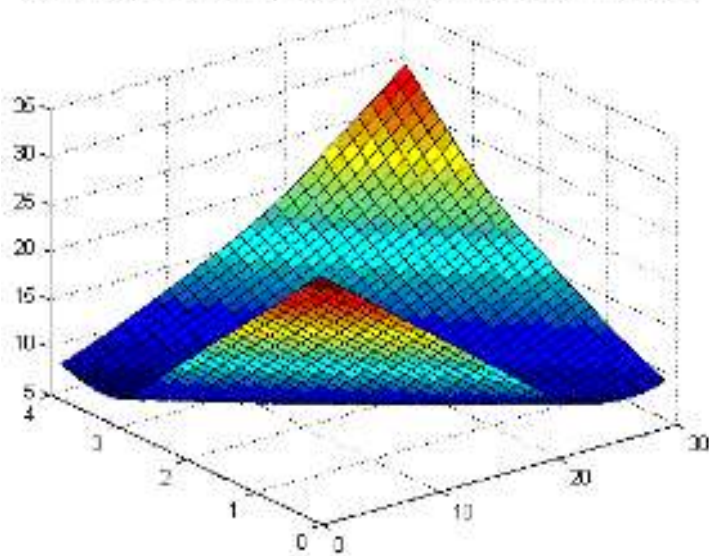
La variable de calage choisie est l'accélération du véhicule notamment puisque c'est le seul paramètre pour lequel le conducteur du véhicule est susceptible de pouvoir modifier.

Choisissez dans le Tableau 1 deux quantifications de l'écart observation / simulation (GoF). Justifiez.

Mean absolute error et *Root mean squared error* sont les deux quantifications choisies. La première est insensible aux erreurs de taille alors que la seconde au contraire accentue les erreurs considérables. Ces deux méthodes qui réagissent différemment permettent ainsi une vision complémentaire sur les résultats du calage.

% questions :
% 1/ Analysez les différentes courbes produites.
% 2/ Est-ce que vous pouvez faire un lien entre la qualité de la reproduction de la trajectoire du suiveur par le modèle de Newell et :
% - les valeurs des paramètres ;
% - la présence d'erreur dans les données de la trajectoire du leader ou du suiveur ;
% - la distance au leader.
% Pour ces explorations, vous pouvez avoir besoin de fabriquer des figures supplémentaires.

Veh n°= 40 MAE min= 9.77 (m) obtenu pour D= 3 (m) et Tau= 3.100000e+03 (s)



Veh n°= 48 RMSE min= 9.51 (m) obtenu pour D= 1 (m) et Tau= 4 (s).

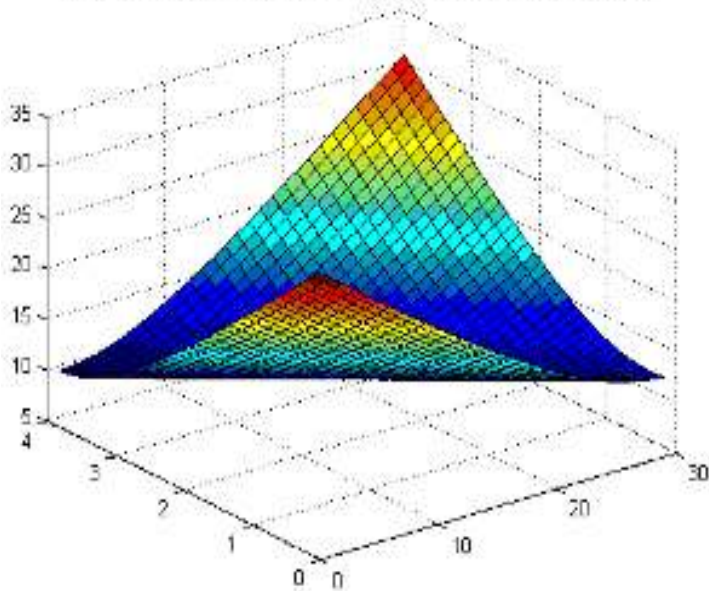


Figure 12 : Représentation de la variation des quantifications en fonction de l'évolution des valeurs des deux paramètres D et tau

Les nappes obtenues sur les figures ci-contre permettent de connaître le minimum d'erreur à commettre pour un véhicule précis avec une quantification définie. Il est aisé de constater qu'une valeur optimale pour le couple des variables D et tau pour une méthode est différent pour l'autre méthode. Il faut aussi prendre en compte le fait que les résultats estimés par les méthodes de quantification sont adaptés à un véhicule déterminé.

Le minimum d'erreur permet d'avoir un ordre d'idée des valeurs à attribuer à D et tau pour que le modèle de poursuite corresponde le plus fidèlement à la réalité. Toutefois, les valeurs du couple de variables sont obtenues pour un seul et unique véhicule et changent ainsi en fonction du véhicule considéré.

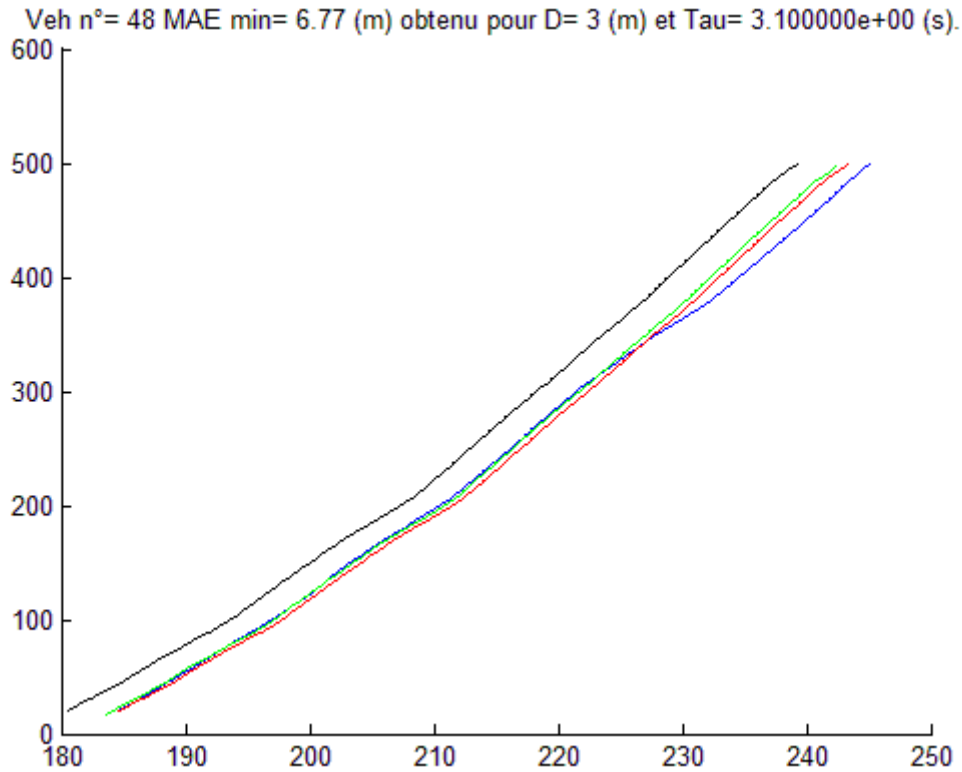


Figure 13 : Représentation des différents couples suiveurs-leaders

Les courbes affichés correspondent aux résultats expérimentaux, véhicule leader en noir et véhicule suiveur en bleu, ainsi qu'à la modélisation de la trajectoire en prenant soit la valeur optimale suivant la quantification MAE, courbe en rouge, soit celle pour la quantification RMSE, la courbe en vert. Les deux courbes modélisées sont sensiblement identiques d'après les vérifications sur un échantillon réduit de véhicules.

De manière évidente, la valeur des paramètres influe directement la qualité de la reproduction de la trajectoire du suiveur. Ce point a été abordé à maintes reprises dans ce rapport. La présence d'erreur dans les données entraîne une diminution de la fiabilité de la reproduction de la trajectoire. En effet, si l'erreur est présente dans la trajectoire du leader, cette irrégularité est notamment imitée dans le modèle de Newell. Tandis qu'une erreur dans la trajectoire du suiveur peut se répercuter sur le choix des valeurs à attribuer aux paramètres et ainsi fausser le résultat. La distance au leader n'importe pas dans la qualité du modèle. Ceci est contestable puisque en réalité, le comportement du suiveur dépend fortement de la distance inter-véhiculaire.

n°VEH	178	125	114	29	21	17	Moyenne
MAE D opt	20	24	4	25	21	5	9.05
MAE Tau Opt	4	0.2	0.9	2.2	0.2	1	1.95
RMSE D opt	23	25	3	30	1	4	9.18
RMSE Tau Opt	4	0.2	1	2.2	2.4	1.1	2

Figure 14 : Tableau de valeurs pour les couples (D,tau) suivant les différentes méthodes

Sur un échantillon de 5 véhicules sélectionnées aléatoirement, force est de constater que les valeurs optimales pour le couple (D, tau) sont extrêmement variables que ce soit selon le véhicule ou selon la méthode de quantification. Toutefois si l'on s'intéresse à la moyenne sur un échantillon plus important, l'ensemble des véhicules circulant sur la voie 2, les valeurs obtenues pour les deux méthodes sont sensiblement identiques.

PARTIE 3.2 : CALAGE DU MODELE DE POURSUITE DE NEWELL

% question : pensez-vous qu'il existe un lien entre les deux distributions ?
 % Cette représentation permet-elle de bien le reproduire ? En proposer une
 % autre au besoin

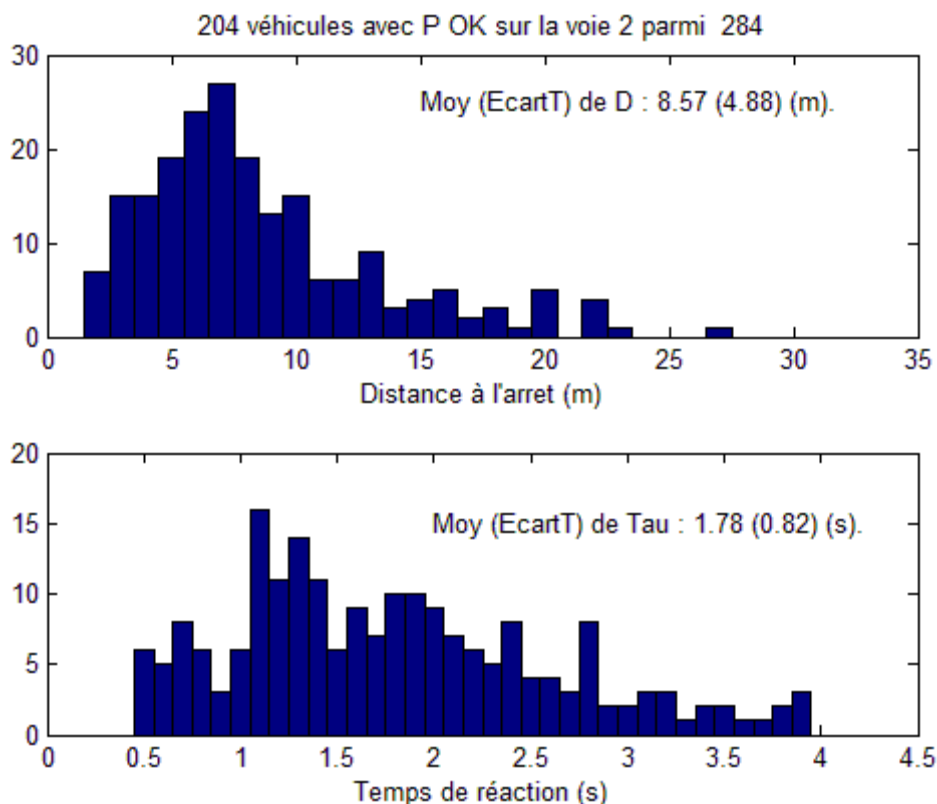


Figure 15 : Répartition des temps de réaction et des distances à l'arrêt

De manière intuitive, un lien existe entre le temps de réaction et la distance à l'arrêt. En effet, il paraît logique qu'un conducteur dont le temps de réaction est plus important ait une distance à l'arrêt plus faible dû à la distance supplémentaire parcourue pendant le temps de réaction. Toutefois, le freinage dépend aussi des caractéristiques techniques du véhicule (état d'entretien du véhicule, ...) ainsi que des conditions environnantes (météo, état de la route, ...) même si le comportement d'un conducteur lors du freinage est identique. Les courbes issues des mesures montrent une certaines similarités au niveau du profil entre la distance à l'arrêt et le temps de réaction. Cette représentation pourrait, semble-t-il, être remplacée par une courbe gaussienne ou une loi gamma de par son allure globale.

% question qu'observez-vous sur ces tirages ?

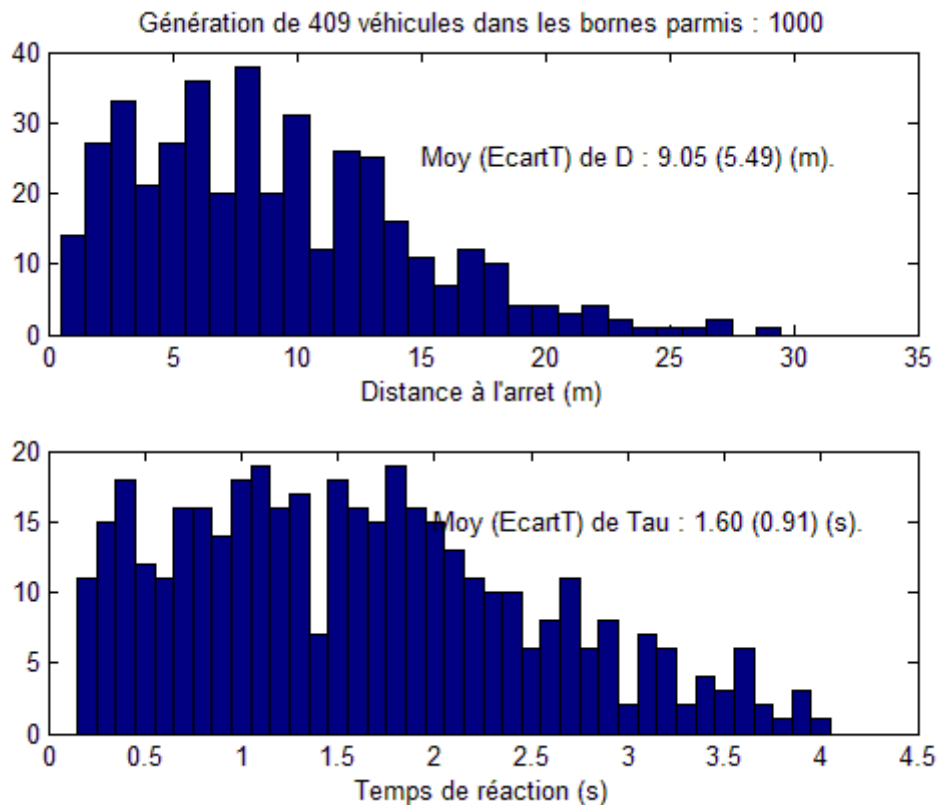


Figure 16 : Histogramme de répartition des distances à l'arrêt et des temps de réaction de l'échantillon tiré aléatoirement.

Les histogrammes tirés du programme suivant une loi normale ont la même allure que ceux observés aléatoirement. Toutefois, les valeurs extrêmes sont plus représentées que dans le cas pratique. Pour les valeurs inférieures de la distance à l'arrêt par exemple, il n'est pas physiquement possible que deux véhicules soient à moins de 3 mètres l'un de l'autre à cause de contraintes liées à la taille du véhicule notamment d'où l'absence de ces valeurs. Quant au temps de réaction, les valeurs extrêmes témoignent de situations relativement inconcevables de par une réactivité trop faible pour être réaliste notamment ou encore une part très importante d'individus ayant un temps de réaction trop élevé.

```
% Question
% écrivez maintenant le code sur la base ce qui est présenté ci
% dessus pour générer 10 véhicules avec newell et des paramètres choisis
% parmi DA et TA. Vous leur ferez suivre un des véhicules
% correct circulant sur la voie 2. Représentez ces 10 véhicules simulés et
% le leader dans le plan x,t (code de la semaine dernière).
% Question : comparez ces 10 véhicules synthétiques
% à une suite de 10 véhicules réels se suivant sur la voie 2. Qu'observez
% vous ? Comment s'assurer que c'est réaliste ?
% Question : quelles sont les limites de cet exercice, quelles conclusions
% pouvez-vous tirer (NB vous êtes notés sur la qualité de vos réponses et
% de votre analyse critique).
```

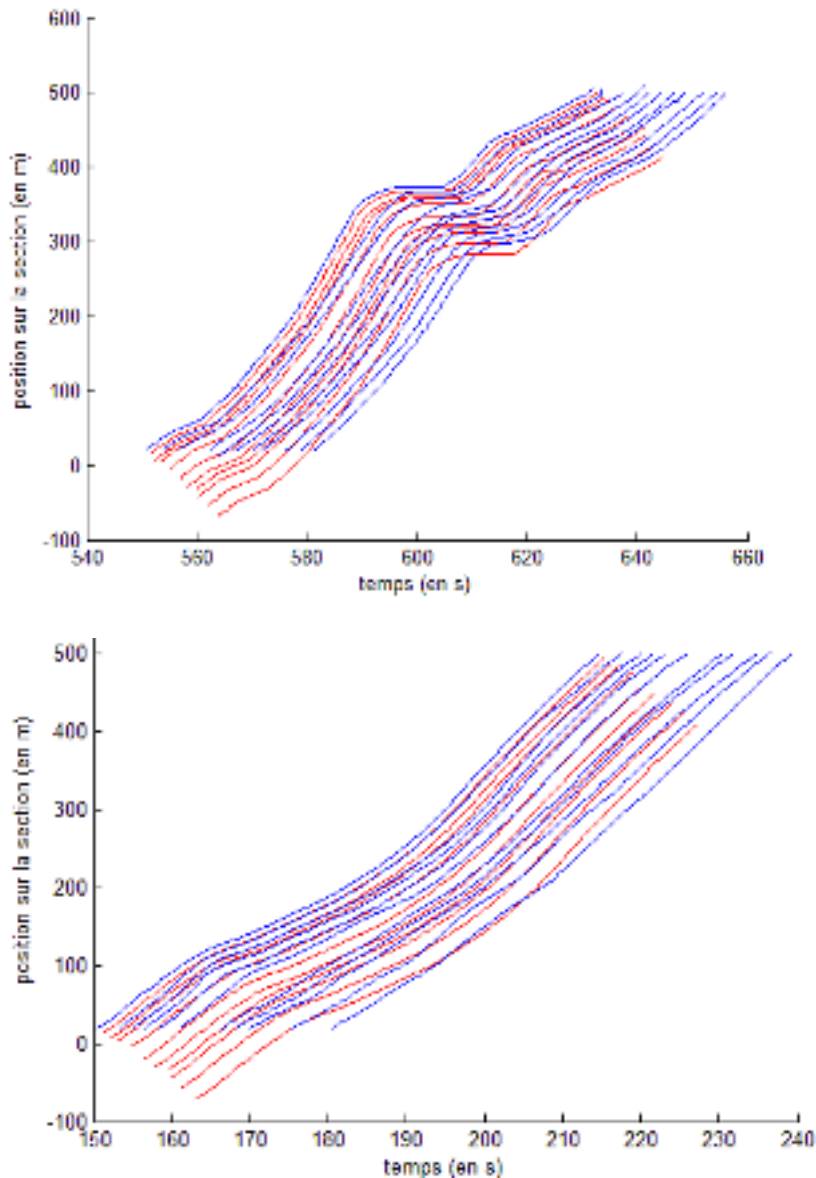


Figure 17 : Tracé de courbes expérimentales et définies par le modèle

Le code est disponible dans l'annexe 2.

La principale réflexion qui émerge est celle concernant la régularité du modèle. En effet ce dernier est constitué d'une simple translation de la trajectoire du véhicule leader. Or en réalité, les irrégularités de la trajectoire du véhicule leader et ses répercussions sur les véhicules suivants sont atténuées avec la distance au véhicule leader. Ainsi les trajectoires de tous les véhicules qui se suivent ne sont pas identiques.

Il s'agit vraisemblablement d'un paramètre à modifier ou à prendre en compte dans le modèle afin de l'affiner et de le perfectionner.

L'exercice est limité dans le sens où nous agissons seulement dans la phase de paramétrage du modèle, et seulement une partie est modifiable. Cependant il permet de toucher du doigt la complexité de la modélisation. En nous faisant comprendre que la vraisemblance d'un modèle est liée à sa complexité. Or l'art de modéliser réside dans la recherche d'un équilibre entre les deux contradictions que sont la réalité et sa complexité et le modèle et sa simplicité.

CONCLUSION

L'objectif de ce TP était de s'attacher à un point particulier de la modélisation du trafic. Le TP se focalise sur un modèle particulier de poursuite à l'aide de données de trajectoires et de quelle manière le rendre fonctionnel et fidèle à la réalité. Il s'agit ici d'avoir une première approche pratique de la modélisation dans le domaine du transport en employant un outil mathématique et informatique déjà familier.

Aux premiers abords, le sujet du TP ainsi que notre intuition suggèrent qu'il est possible de rendre un modèle adapté à toutes les situations. Toutefois, au fur et à mesure du déroulé du TP, il est facile de constater qu'un modèle optimal ne l'est que dans des conditions particulières pour un cas particulier. La différence entre le modèle et la réalité réside notamment dans le fait que l'ensemble des comportements humains en jeu dans la conduite d'un véhicule sont mis de côté dans la modélisation à cause de leur complexité.

Ainsi, l'ensemble du travail réalisé mène à une réflexion sur l'enjeu de modèle en lui-même. Cela permet de souligner qu'un modèle est constitué d'un panel d'hypothèses et de simplifications. Ceci témoigne du fait que le modèle est une approche de la réalité afin de comprendre les différents phénomènes en jeu. L'objectif est donc de trouver un équilibre entre la fidélité avec la réalité et la facilité du modèle.

ANNEXES

Annexe 1 :

```
NVeh=3366;
Changtot=[];
NV=0;
for i= 1:NVeh
    Veh=find(Data(:,1)==i);
    n=min(Veh);
    m=max(Veh);
    Changveh=0;
    for h=n+2:m
        if Data(Veh(h-1-n),5)==Data(Veh(h-n),5)
            Changveh=Changveh;
        else
            Changveh=Changveh+1;
        end;
    end;
end;
if Changveh>0
    NV=NV+1;
end;
Changtot=[Changtot Changveh];
end;
sum(Changtot)%somme des changements de voies par véhicules
NV %nombres de véhicules changeant de voie
%nous obtenons que 670 Véhicules font 1043 changements de voies au total
```

Annexe 2

```
NumVehReel =39;
li = NumVehReel;
Ng = 10; % nombre de véhicules à générer
leader_exp= [Veh(li).T,Veh(li).X,Veh(li).VInst]';

figure;
hold on;
xlabel('temps (en s)')
ylabel('position sur la section (en m)')
plot(leader_exp(1,:),leader_exp(2:,:), 'b')

for i = 1 : Ng
    aa= floor(rand(1,1)*length(OKalea));
    WA= DA(aa)/TA(aa);
    suiveur_mod=Newell(leader_exp(1:2,:),DA(aa),WA);
    leader_exp=suiveur_mod;
    plot(suiveur_mod(1,:),suiveur_mod(2:,:), 'r')
end;
for i = 1:Ng
    suiveur_exp= [Veh(li+i).T,Veh(li+i).X,Veh(li+i).VInst]';
    plot(suiveur_exp(1,:),suiveur_exp(2:,:), 'b')
end;
```