MOTUS 2013 : Calage de deux modèles de poursuite sur des données de trajectoire – Binôme 15 Locatelli Lafille

Contexte

La présente étude repose sur l'examen de données de trajectoires individuelles recueillies sur l'autoroute I80, en Californie, USA, via le programme NGSim de l'administration fédérale américaine des autoroutes. Les modèles de poursuite de Newell et de General Motors (dit « GM » dans la suite du texte) seront utilisés pour représenter les positions des véhicules « leaders » et « suiveurs », et enfin nous verrons comment caler ces différents modèles microscopiques de poursuite suivant leurs différents paramètres.

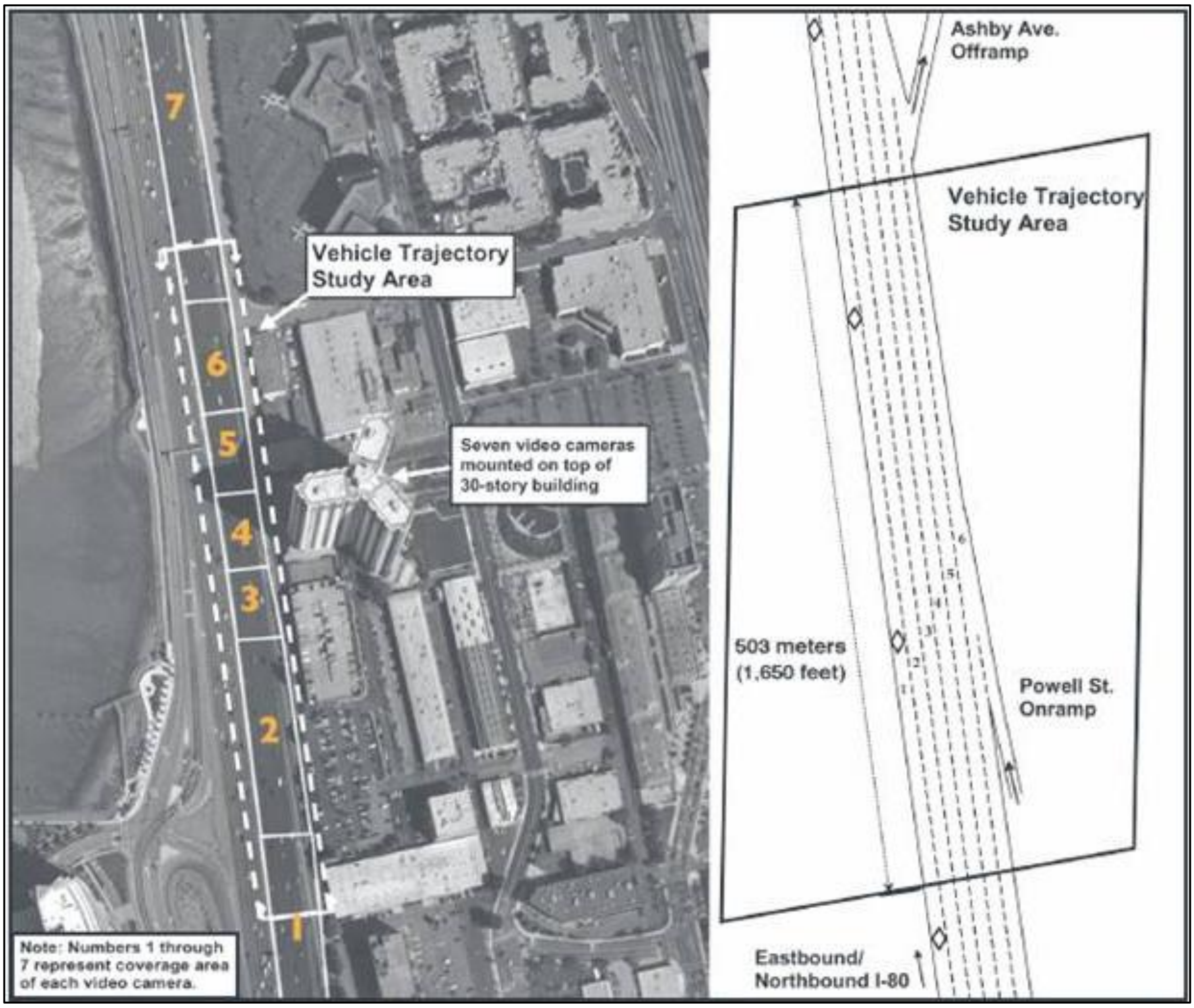


Figure 1 - vue aérienne de la portion d'autoroute I80 concernée.

Partie 1

- Pour représenter dans le plan (x,y) les trajectoires des véhicules sur les 7 voies de l'autoroute I80, nous utilisons sous MATLAB le code fourni *ExoCalibV2013.m*, qui nous sort le graphe suivant :

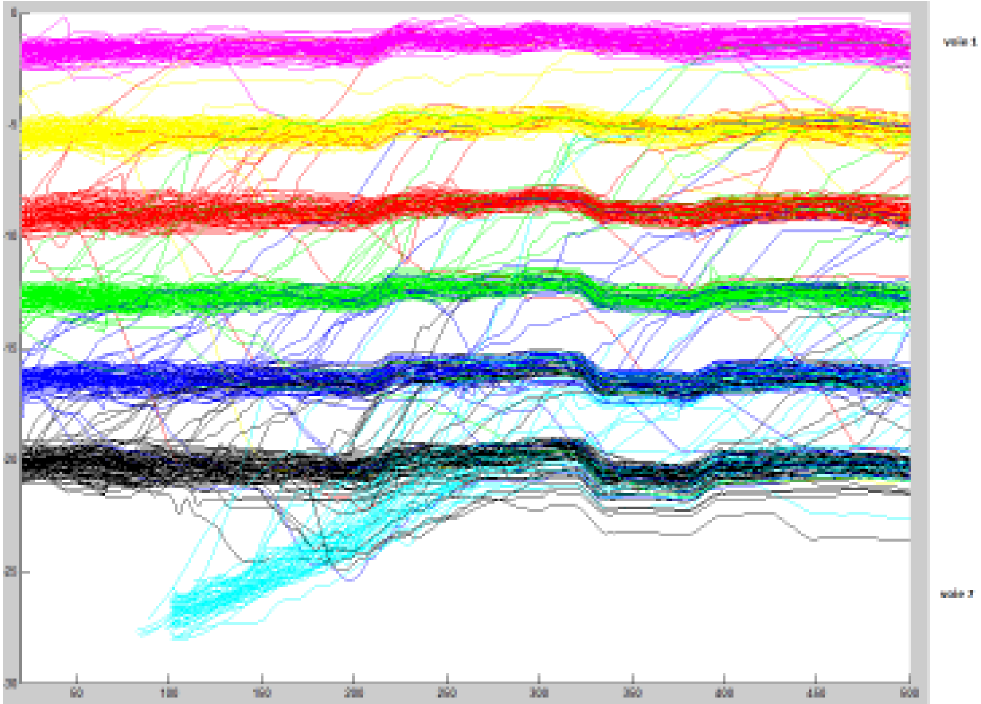


Figure 2 - Représentation des trajectoires des véhicules sur 7 voies, en (x,y)

D'autre part, nous pouvons représenter les trajectoires dans le repère (x,t) des véhicules au cours du temps, et ce sur les 7 voies de l'autoroute, via le même fichier de code MATLAB :

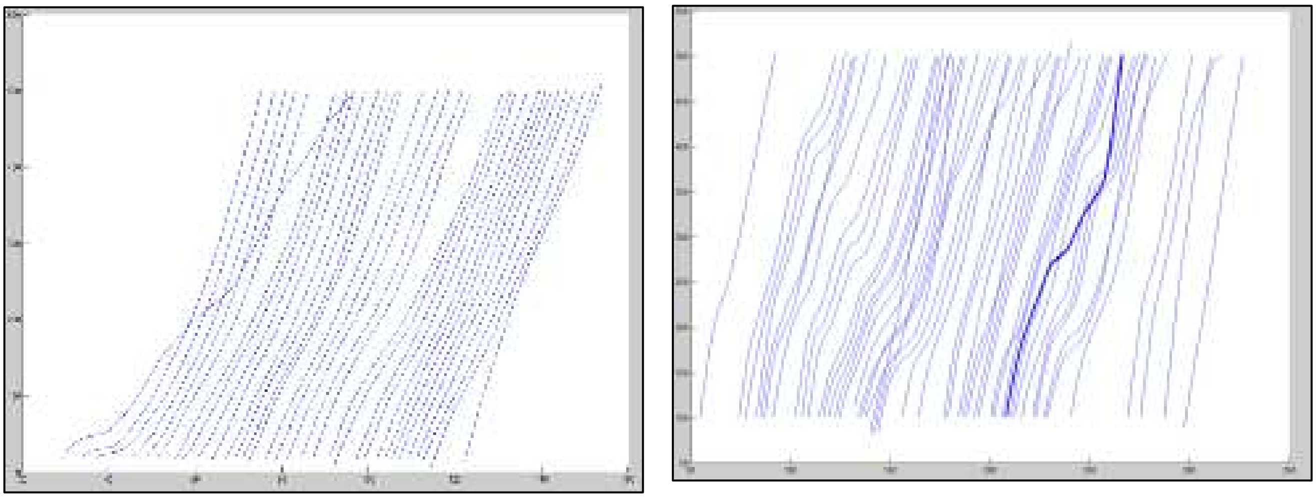


Figure 3 - représentation (x,t) des trajectoires. A gauche : voie 1, à droite : voie 7

- Sur les représentations en (x,y), nous voyons les trajectoires des véhicules sur la portion d'autoroute. La voie 1, représentée en fuchsia, est la voie rapide, c'est la voie de « gauche » sur l'autoroute : les véhicules se dépassent peu et ont des trajectoires majoritairement uniformes. La voie 7 au contraire, est la voie d'insertion, elle est tronquée et débouche dans la voie 6. Les véhicules sont donc plus lents, et amenés à se doubler fréquemment pour s'insérer correctement (ce qui se constate également sur la représentation (x,t) sur la figure de droite). La trajectoire d'un véhicule représentée en gras sur cette figure montre comment le véhicule ralentit, puis accélère pour s'insérer, puis change de voie.

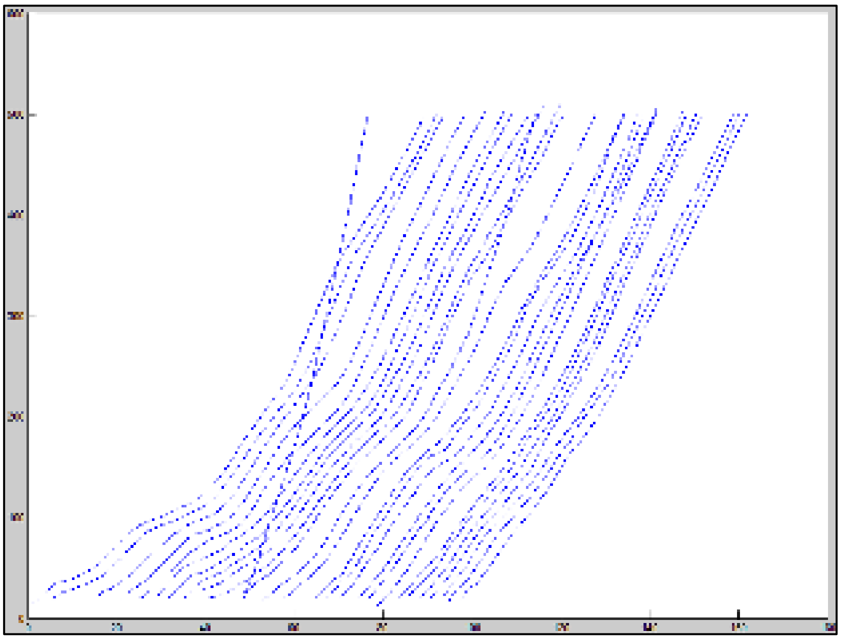
- 

Figure 4 - représentation (x,t) de la voie 2

Les véhicules changent de vitesse lorsqu'il y a des ruptures de pentes sur les courbes. Une pente plus faible correspond à une vitesse plus faible.

Les vitesses changent lorsque les véhicules sont amenés à se doubler ou encore si le véhicule de leader ralentit. Dans ce cas, le véhicule suiveur ralentit également.

Partie 2

- Dans ce modèle de poursuite simple, la trajectoire du suiveur est totalement déterminée par celle du véhicule leader. Cependant, ce modèle agit comme si les véhicules circulaient sur une route à une seule et unique voie. Par conséquent ils ne prennent pas en compte les phénomènes de dépassement, comme ils arrivent fréquemment par exemple sur l'autoroute que nous étudions ici.

- Les 2 équations suivantes sont celles qui, respectivement suivant le modèle de Newell et de GM, rendent compte du modèle de poursuite avec les positions des véhicules leader et suiveur :

Newell :

$$\boxed{x_n(t+\tau^n) = x_{n-1}(t) - s_x^n,}$$

General Motors : $$\ddot{x}_n(t + T^n) = C^n \times \frac{(\dot{x}_{n-1} - \dot{x}_n)}{(x_{n-1} - x_n)}.$$

Nous retrouvons ces 2 équations dans les feuilles de code nommées respectivement *Newell.m* et *GMModel.m* :

Ici pour le Newell, nous retrouvons l'équation dans le repère tourne, en fonction de la valeur de la vitesse individuelle de remontée de congestion

```
suiveur_mod1=leader_exp1;
suiveur_mod1(2,:) = suiveur_mod1(2,:)-ones(1,length(suiveur_mod1(2,:)))*l
```

Et pour le modèle General Motors :

```
DifX=leader_exp(2,t-nbT)-suiveur_modGM(2,t-nbT);
DifV=leader_exp(3,t-nbT)-suiveur_modGM(3,t-nbT);
Accel=C*DifV/DifX;
suiveur_modGM(3,t)=Accel*T+suiveur_modGM(3,t-nbT);
suiveur_modGM(2,t)=suiveur_modGM(3,t)*T+suiveur_modGM(2,t-nbT);
```

Ainsi, dans ce modèle, plus le suiveur est proche du leader, plus il adapte sa vitesse à celle de son leader. Au contraire, lorsqu'il s'éloigne, il adapte sa vitesse de manière plus individuelle.

- Pour représenter les trajectoires obtenues grâce aux modèles GM et Newell, nous utilisons les fonctions de représentation de paires de véhicules dans le fichier de code *ExoCalibV2013.m.*

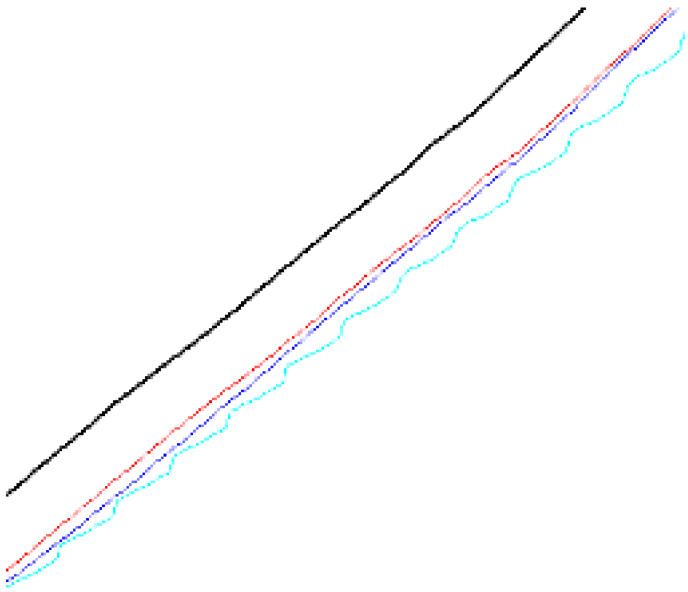


Figure 5 - zoom sur une partie de la trajectoire de la 10e paire de véhicule

La trajectoire du leader est en noir, celle du suiveur en bleu, celle du suiveur simulé par Newell en rouge et celle du suiveur simulé par GM en cyan.

On remarque que le modèle de GM en cyan présente des sauts. Cela est dû en partie au fait que la position du suiveur dépend de la vitesse et position du véhicule du leader. En effet, comme l'adaptation de la vitesse du suiveur est entre deux modes (personnelle et en copiant le leader), il apparait des sauts quand on se situe à la limite entre l'adaptation personnelle de la vitesse et la copie de l'allure du leader.

Partie 3

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

Les données observées présentent de nombreuses irrégularités si on les utilise pour calculer l'accélération et notamment là où elles sont a priori fausses (accélérations supérieures ou inférieures à 3m/s² très rare en réalité). Ainsi, il est préférable de lisser sur les données en amont, c'est-à-dire au niveau de la position (x) afin de moins s'écarter au possible de la réalité.

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

1. D'une part, la MAE (Mean absolute error) [GoF1], permet d'apprécier au mieux toutes les erreurs à la fois positives et négatives. Cependant elle ne permet pas de rendre compte de la nature des erreurs (positives et négatives).

2. D'autre part, la RMSE (Root mean squared error) [GoF2], méthode d'appréciation des erreurs la plus répandue, nous permettra d'apprécier les erreurs tout en n'étant pas très sensible aux grandes erreurs.

- *Codez votre choix de variable (MoP) et vos choix de quantification de l'écart (GoF1 et GoF2).*

MAE (Mean absolute error) [GoF1] : *Le code était en partie donné par le codage de RMSE.*

```
function [mae]=mae_gof(suiveur_mod,suiveur_exp)

%on calcule la période sur laquelle on fait le calcul de distance
%la période est définie entre tmin et tmax
tmin = max(suiveur_exp(1,1),suiveur_mod(1,1));
tmax = min(suiveur_exp(1,end),suiveur_mod(1,end));
F1 = find(suiveur_exp(1,:)>=tmin-0.001 & suiveur_exp(1,:)<=tmax+0.001);
F2 = find(suiveur_mod(1,:)>=tmin-0.001 & suiveur_mod(1,:)<=tmax+0.001);
X = [suiveur_exp([1,2],F1);suiveur_mod([1,2],F2)];  %#ok<FNDSB>
% On remplit un tableau X avec les temps et les positions du suiveur
observé et du suiveur modélisé (on utilisera par la suite que les positions
(colonnes 2 et 4))

% On fait en sorte que si on ne voit rien, la valeur ne soit pas utilisée
% dans le calcul ensuite :
% pour le suiveur observé,
F=find(X(2,:)==0);
X(:,F)=[]; %#ok<FNDSB>
clear F;
% Pour le suiveur modélisé :
F=find(X(4,:)==0);
X(:,F)=[]; %#ok<FNDSB>
clear F;
```

```
%%% On peut maintenant calculer à chaque instant la distance
%%% entre les deux trajectoires et en prendre la valeur absolue:
err = abs(X(2,:)-X(4,:));

% Le RMSE vaut la moyenne des valeurs absolues des erreurs.
mae = sum(err)/length(err);
```

Seules les deux dernières lignes de codes change pour RMSE :

```
%%% On peut maintenant calculer à chaque instant la distance
%%% entre les deux trajectoires :
err = X(2,:)-X(4,:);
% On l'élève au carré
err = err.*err;
% Le RMSE vaut la racine de la moyenne des erreurs au carré.
rmse = sqrt(sum(err)/length(err));
```

- *Codez ensuite une exploration brutale du domaine de définition des deux paramètres entre les deux bornes définies dans le code avec au moins un nombre de pas de 10 par paramètre.*

Voici le code pour rechercher les valeurs des paramètres qui donne une MAE ou RMSE minimale pour le test du modèle de GM (le principe étant le même pour le test de Newell) :

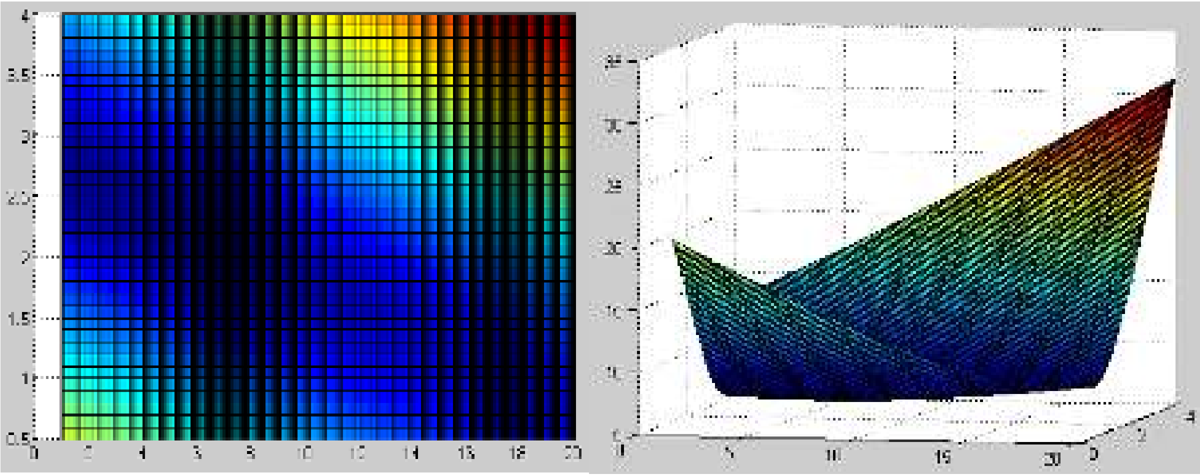
```
    clear all
    close all
    load i101.mat

    % Bornes d'évolution des paramètres de GM. Celles-ci ont été
    % volontairement prises de manière large afin de chercher le minimum
sur un ensemble de combinaisons des deux paramètres le plus large
    % possible. En vérifiant que l'erreur minimale ne se trouvait pas avec
    % des paramètres correspondants à ces bornes, nous avons pu les
    % ajuster.
    Cmin    = 10;  % valeur minimale du coefficient de sensibilité
(homogène à une vitesse)
    Cmax    = 16;     %   valeur maxi
    Tmin    = 0;  % temps de réaction minimal (en secondes)
    Tmax    = 4;    % Temps de réaction maximal (idem)

for l=1:13   % Calculs effectués pour les 13 véhicules

Veh=[1,2,84;1,4,14;2,2,126;1,3,26;1,3,95;1,2,39;2,2,128;3,5,17;2,4,6;1,4,45
;3,5,33;1,2,26;2,4,23;];
    jeu=Veh(l,1);
    k=Veh(l,2);
    j=Veh(l,3);

    [a] = ext_donnees(voie,jeu,k,j);
    leader_exp = a.leader_exp;
    suiveur_exp = a.suiveur_exp;

    %Initialisation des pas et des vecteurs qui serviront à parcourir
    %l'ensemble des valeurs pour les deux paramètres
    pasT = 0.1 ;
    pasC = 0.1 ;
```

```
    X = [Tmin:pasT:Tmax] ;
    Y = [Cmin:pasC:Cmax] ;

    %On parcoure l'ensemble des vecteurs :
    for i=1:length(Y)
        for j=1:length(X)
            T = X(j) ;
            C = Y(i) ;

            %Génération du suiveur d'après le modèle GM
            suiveur_mod = GMModel(leader_exp,suiveur_exp,C,T) ;



            %Stockage des mesures à l'écart de l'observation par rapport à
            %la simulation (GoF)
            RMSE(i,j)  = rmse_gof(suiveur_mod,suiveur_exp) ;
            MAE(i,j) =  mae_gof(suiveur_mod,suiveur_exp) ;
        end;
    end;

    %Recherche des deux valaurs des paramètres permettant d'avoir l'erreur
    %minimale.
    minimum_RMSE = min(min(RMSE)) ;
    [i,j] = find (RMSE == minimum_RMSE) ;
    Result(1,l) = minimum_RMSE ;
    Result(2,l) = Y(i) ; %C
    Result(3,l) = X(j) ; %T

    minimum_MAE = min(min(MAE)) ;
    [i,j] = find (MAE == minimum_MAE) ;
    Result(4,l) = minimum_MAE ;
    Result(5,l) = Y(i);  %C
    Result(6,l) = X(j);  %T

% Tracés des surfaces. Utilisé pour ajuster les bornes des deux paramètres,
%puis mis en commentaires pour effectuer les calculs sur l'ensemble des
%véhicules.
%     surf(X,Y,RMSE) ;
%     figure ;
%     surf(X,Y,MAE) ;
%     axis([Tmin Tmax Cmin Cmax 0 20]);
end;

Result
```

- *Pour une paire de trajectoires judicieusement choisie (au moins), tracez la fonction de coût pour l'ensemble des combinaisons (modèle/GoF) explorées. Existe-t-il un paramètre pour lequel la fonction de coût évolue plus significativement ?*

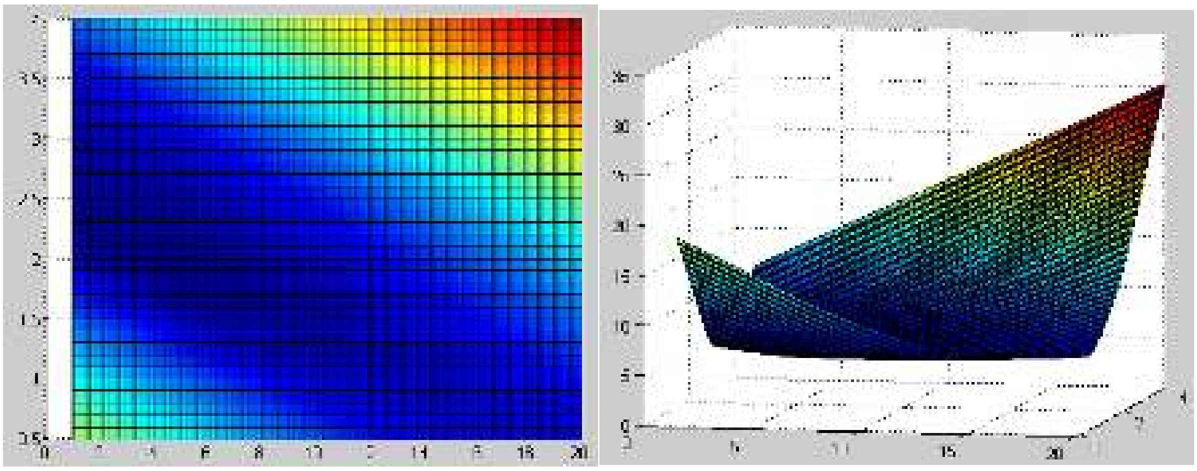
Compte-tenu des résultats obtenus pour la paire n°7 (présence notamment de saut pour le modèle de GM), observons ce que donnent les tracés de fonctions de coûts :

- Modèle de Newell :
    - RMSE :



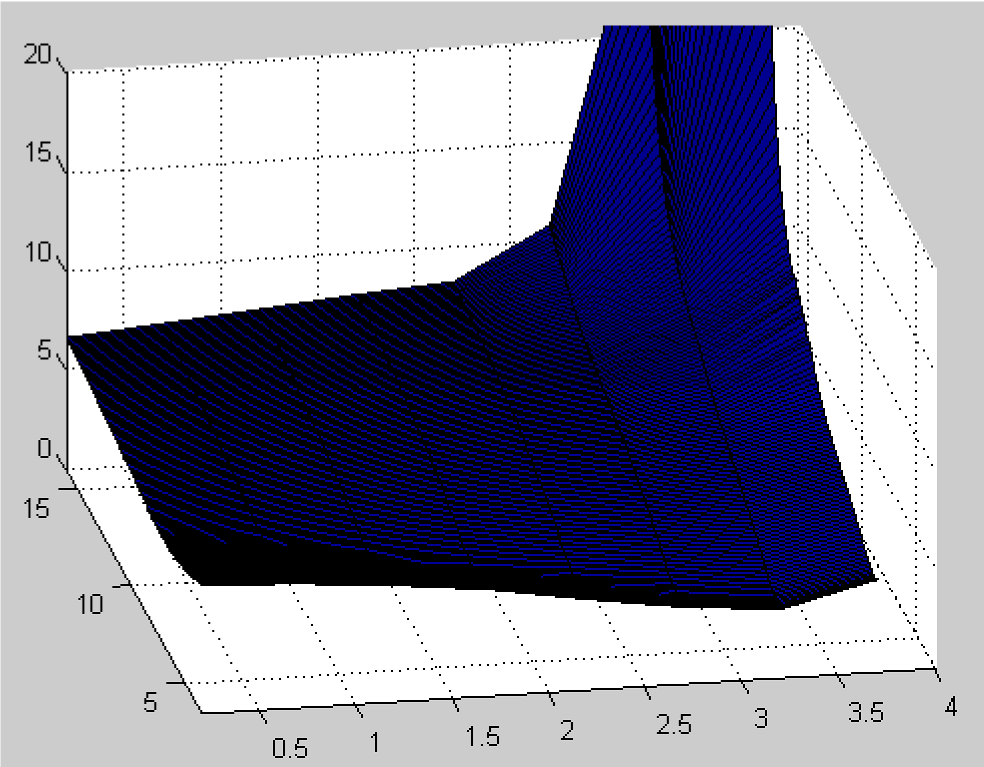
[Minimum de 6.27 pour Sx = 2.4m et Tau = 2.5s] On ne remarque pas de paramètre pour laquelle la fonction de coût évolue significativement sur la plage observée.

    - MAE



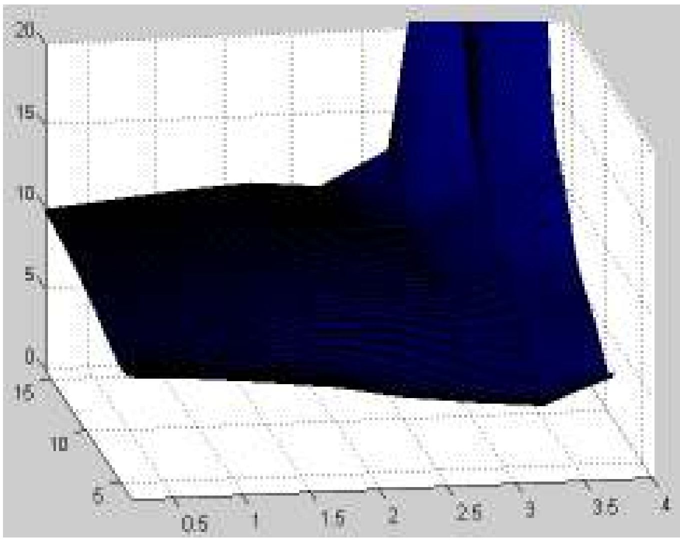
[Minimum de 4.94 pour Sx = 4.2m et Tau = 2s] Les résultats sont sensiblement identiques et également aucun paramètre plus significatif ne se dégage.

- Modèle de General Motor (GM) :
    - RMSE :



[Minimum de 4.71 pour C = 3.6m/s et T = 3.2s] On observe que cela est obtenu pour un temps de réaction T anormalement long. De plus la valeur de l'erreur semble croître de manière significative avec ce paramètre.

    - MAE :



[Minimum de 3.36 pour C = 3.9m/s et T = 3.2 s] Les résultats sont sensiblement les même que pour RMSE.

- *Pour chaque paire de trajectoire, pour les deux GoF et les deux modèles, retenez les valeurs des paramètres optimaux. Dressez un tableau de synthèse pour l'ensemble des paires de trajectoires et faites - en une analyse*

Newell	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Moyenne	Ecart-type
RMSE	0,9	1,5	1,9	1,7	2,8	1,0	6,3	2,6	0,7	3,1	3,2	1,8	1,0	2,2	1,5
Tau	0,9	1,2	1,4	0,8	1,7	1,1	2,5	0,6	0,7	0,9	1,7	0,9	0,8	1,2	0,5
Sx	8,2	1,9	5,8	15,3	1,0	5,3	2,4	9,6	8,2	19,8	4,3	10,2	9,2	7,8	5,4
MAE	0,7	1,2	1,4	1,4	2,1	0,8	4,9	2,1	0,6	2,6	2,6	1,5	0,8	1,7	1,2
Tau	1,0	1,2	1,3	0,8	1,6	1,2	2,0	0,7	0,7	0,9	1,4	1,0	0,8	1,1	0,4
Sx	7,2	1,6	6,3	15,6	1,0	3,8	4,2	8,5	8,1	19,7	7,0	8,9	9,2	7,8	5,2
GM															
RMSE	0,9	1,7	3,3	2,8	4,3	1,2	4,6	3,2	1,0	3,4	2,5	2,5	1,1	2,5	1,3
C	12,3	13,9	4,4	14,8	7,8	15,9	3,7	15,2	14,2	14,9	6,7	5,3	14,3	11,0	4,7
Tau	1,2	0,1	1,9	2,5	1,4	0,4	3,4	1,4	0,1	0,1	1,3	2,6	0,9	1,3	1,0
MAE	0,7	1,4	2,9	2,1	3,3	0,9	3,3	2,5	0,9	2,9	2,1	1,8	0,9	2,0	1,0
C	12,9	14,0	4,3	15,0	5,9	15,7	3,9	14,8	14,1	16,0	6,8	5,3	13,9	11,0	4,8
Tau	1,0	0,1	1,9	2,5	1,4	0,3	3,3	1,4	0,1	0,1	1,6	2,6	1,0	1,3	1,0

- Newell : On remarque pour Newell que les valeurs des paramètres Sx (distance entre deux avants de véhicules) sont très variables et parfois même aberrantes (par exemple Sx = 1m pour le véhicule 5. Concernant le paramètre Tau, son écart type est moindre sur l'ensemble des résultats et prend comme valeur 1.2s et 1.1s en moyenne respectivement pour la RMSE et la MAE. Cette valeur correspond à la valeur commune du temps de réaction d'un conducteur en bonne forme physique qui est d'une seconde[1].
- GM : La valeur du coefficient de sensibilité C ne présente pas de régularité à travers les tests des trajectoires des 13 paires de véhicules. Quant aux valeurs de Tau, celles-ci sont plus régulières et tourne en moyenne autour de 1.3s.

Globalement, on peut remarquer que certaines valeurs (en rouge) semblent s'écarter plus fortement d'une tendance globale que d'autres. Ceci est peut-être dû notamment à des trajectoires particulières n'étant « adaptées » aux modèles car ceux-ci ne prennent pas en compte le facteur humain qui apporte un caractère aléatoire aux observations. Or il n'est pas prévu dans ces modèles de prendre en compte ce facteur.

[1] Selon le site internet www.zerotracas.com/securite_routiere.