

Comparaison entre les modélisations macroscopique et microscopique de trafic

POLYTECH
TOURS

Département
Aménagement et Environnement

Etude de l'impact des variations des variables d'entrées sur les résultats et temps de calculs des modèles macroscopique et microscopique de ralentissement routier

Sofiane Cherchali, Minjdid Maizia

Keywords:

Trafic

Modélisation

Loi de poursuite

Modèle hydrodynamique

Résumé

Il existe deux grandes familles de modélisation de trafic, la modélisation microscopique, qui a pour principe de modéliser les véhicules individuellement, et la modélisation macroscopique qui assimile le flux de trafic à un fluide. Cette étude propose de comparer ces deux modèles dans le cadre d'une recherche de longueur de ralentissement sur plusieurs aspects: sur la variation des résultats ainsi que des temps de calcul.

Les résultats semblent indiquer que dans la plupart des cas les deux modèles se comportent de la même manière vis à vis des variations des variables d'entrées sur le plan des résultats. Alors que du point de vue des temps de calculs, le modèle macroscopique est constant et est très nettement inférieur à celui du modèle microscopique qui lui a un temps de calcul qui varie

Sommaire

1. Introduction

- 1.1. Contexte de l'étude
- 1.2. Etat de l'art
- 1.3. Objectifs

2. Méthodologie

- 2.1. Choix des modèles utilisés
- 2.2. Traduction de ces modèles en termes d'algorithmes
 - 2.2.1 Modèle microscopique de bouchon
 - 2.2.2 Modèle macroscopique de bouchon
- 2.3 Méthode de comparaison

3. Cas d'étude

4. Résultats

- 4.1.1 Présentation des résultats
- 4.1.2 Présentation des temps de calculs
- 4.2. Explication des différences de résultat

5. Conclusion

- 5.1. Conclusion générale
- 5.2. Autocritique
- 5.3. Perspective de recherches

1. Introduction

1.1. Contexte de l'étude

Comme soulevé dans le mémoire de Guillaume Costeseque *"Modélisation du trafic routier : passage du microscopique au macroscopique"*, depuis un certain nombre d'année, le trafic routier fait de plus en plus parler de lui. En effet avec l'importance que prennent les enjeux environnementaux et l'urgence de ceux-ci, les problèmes de circulation et notamment les congestions et ralentissements auraient tendance à aggraver la situation existante. En effet, dans le mémoire Marc Therrien *"Le calcul des coûts de la congestion routière causée par les ponts reliant Québec et Lévis"*, un lien direct a été montré entre les congestions et l'augmentation des émissions des gaz à effet de serre ainsi que l'augmentation de la consommation de carburant. De ce fait les congestions sont bien une préoccupation pour tous car touchant les usagers individuellement (perte de temps et d'argent) ainsi que l'ensemble de la société du fait de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre.

Il est donc nécessaire de tirer le meilleur parti des infrastructures routières afin de limiter au maximum la présence de ralentissement. Pour ce faire des nombreux modèles de simulation de trafic permettent aux exploitants d'anticiper au mieux l'impact d'une action sur le trafic routier et donc d'adapter grâce à ces outils, le réseau routier en repensant par exemple son plan de circulation ou plus simplement d'adapter au mieux la synchronisation des feux de circulations pour permettre un écoulement plus fluide de la circulation.

1.2. Etat de l'art

De façon générale, lorsque l'on souhaite faire une étude sur un objet il est alors possible d'approcher l'analyse sur plusieurs échelles. La première et plus fine est l'échelle microscopique où le but est d'avoir une représentation très précise et détaillée du fonctionnement ou de l'objet en cherchant à avoir une vision la plus réaliste des éléments qui le compose et ses réactions avec le milieu qui l'entoure. L'autre manière d'aborder une modélisation est donc l'opposée de celle-ci : l'échelle macroscopique. Elle est donc faite pour représenter de manière plus globale, avec moins de détail, un objet et ses interactions avec son environnement. La vision macroscopique a donc pour but d'expliquer le fonctionnement d'un phénomène de manière plus générale à une échelle plus grande.

La description d'un réseau urbain routier se divise en 3 modèles de base. Un modèle de représentation du réseau qui représente les tronçons (nombre de voies, sens de circulation, limitation de vitesse, etc.), un modèle d'affectation qui à partir de matrice origine-destination peut prédire de manière statique le nombre de véhicule se rendant dans une zone ou le temps de parcours théorique qui relierait une origine à une destination. Le dernier modèle, le modèle d'écoulement, est celui qui sera développé tout au long de ce PFE et son but est de pouvoir simuler et prédire de manière dynamique la progression des véhicules sur le réseau routier.

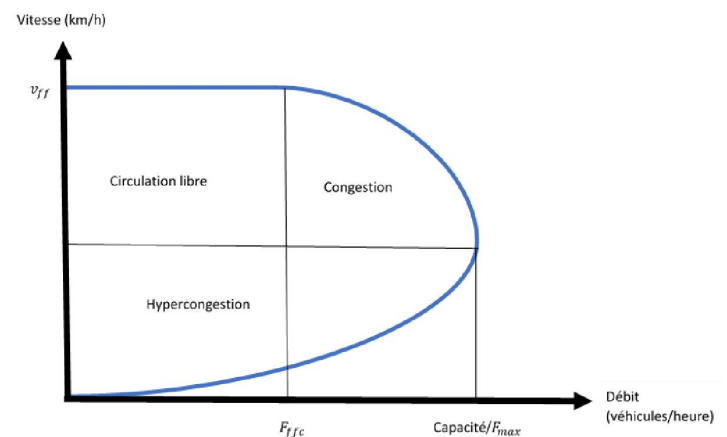
Dans la modélisation dynamique de l'écoulement du trafic on retrouve cette dissociation entre l'échelle microscopique et l'échelle macroscopique. Il existe en effet deux grands types de modélisation : la modélisation dite de « loi de poursuite » où l'on

s'intéresse à l'état de chaque véhicule pour chaque pas de temps et la modélisation hydrodynamique où le trafic est assimilé à un fluide.

D'une part la modélisation de la loi de poursuite a pour but de représenter le flux de véhicules par des véhicules individuels et se concentre sur les interactions qu'ont les véhicules entre eux et avec les infrastructures environnantes. Ce modèle prévoit deux cas de figure opposés. Le premier est le cas où un véhicule n'est pas gêné par d'autre véhicule ou par l'environnement et peut donc circuler à la vitesse maximale autorisée. Le deuxième cas de figure est celui où le véhicule qui le précède est contraignant, c'est à dire que celui-ci circule à une vitesse moins élevée ou qu'il se situe trop proche, alors le véhicule qui est gêné va devoir adapter sa vitesse.

L'enjeu majeur de la modélisation de poursuite est donc la modélisation de la distance de sécurité entre deux véhicules, qui induit la distance à partir de laquelle un véhicule est « gêné » par un autre. Dans la plupart des modélisations la distance inter-véhicule est proportionnelle à la vitesse du véhicule suiveur. De plus des limites sur l'accélération et la décélération doivent être posées. En effet en cas de freinage brusque ou de démarrage sans véhicule contraignant devant soit, les accélérations et décélérations ne doivent pas dépasser les limites réelles afin de respecter les lois de la physique. Enfin, la modélisation microscopique étant basée sur les interactions des véhicules à l'échelle individuelle il est nécessaire de prendre en compte le comportement des conducteurs.

D'autre part, comme dit précédemment, la modélisation hydrodynamique est issue d'une analogie avec les modélisations de fluide. En effet dans ce type de modèle le flux de véhicule est assimilé à un milieu continue. Ces modèles permettent de décrire des variables macroscopiques, et donc plus globale, telles que le débit (en véhicule par unité de temps), la concentration (en véhicules par unité de longueur) ou la vitesse. Cependant comme on peut le voir une fois de plus dans le mémoire de Marc Therrien, contrairement au fluide traditionnel, le débit n'est pas proportionnel à la vitesse.



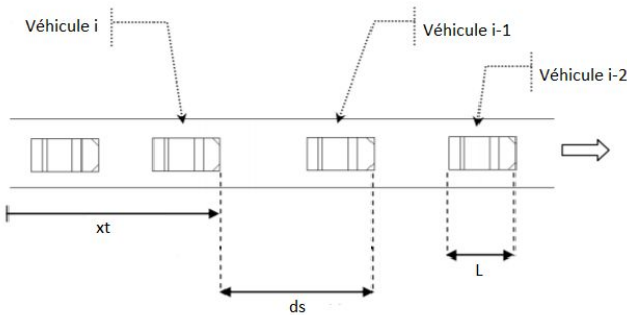
L'enjeu des modèles hydrodynamiques est donc de déterminer au mieux les relations entre vitesse, débit et concentration. Le débit est classiquement défini comme le produit de la vitesse et de la concentration, il est surtout question de la relation entre la vitesse et la concentration qui varie selon les modèles utilisés.

1.3. Objectifs

Cette étude a donc pour objectif d'opposer un modèle microscopique à un modèle macroscopique afin de pouvoir comparer leur sensibilité à certaine variable d'entrée en termes de résultat ainsi qu'en termes de temps de calcul. A cet effet les modèles choisis seront comparés dans un calcul de longueur de ralentissements dans plusieurs cas de figure. Pour ce faire nous présenterons le fonctionnement de ces modèles puis comment celui ci a été adapté pour la recherche de la longueur d'un ralentissement.

2. Méthodologie

2.1. Choix des modèles utilisés



Comme expliqué dans la partie 1.2., le modèle microscopique a comme principe de considérer les véhicules individuellement. De ce fait la loi de poursuite s'applique à l'ensemble des véhicules. La loi de poursuite se traduit de la façon suivante :

Tant que le premier véhicule de la liste n'a pas parcouru la distance d :

Pour tous les véhicules i de la liste:

Attribuer la nouvelle position du véhicule = $xt + \tau * vt$

Pour tous les véhicules sauf le premier :

calculer la distance de sécurité ds

si la distance du véhicule avec son prédécesseur est $< ds$:

lui attribuer la vitesse maximale entre 0, $vt - b * \tau$

sinon :

lui attribuer la vitesse minimale entre v_{max} , $vt + a * \tau$ et la vitesse de sécurité

La distance de sécurité ainsi que la vitesse de sécurité utilisées sont respectivement celle proposées par Pipes et par Krauss:

$$ds = L * \left(1 + \frac{vt}{16.1}\right)$$

$$vs_i = vt_{i-1} + \frac{ds - vt_{i-1} * Tr}{\frac{0.5 * vt_{i-1} * vt_i}{b} + Tr}$$

D'autre part, pour le modèle macroscopique, le but de cette étude se focalisant sur les variations en termes de temps de calcul et de résultat et non pas sur la concordance des résultats obtenus avec des données réelles, le choix a été fait de choisir le modèle macroscopique le plus simple, celui de Greenshield qui propose une relation linéaire entre la vitesse et la concentration. Le modèle se base donc sur les deux relations suivantes :

$$V = 156 - C * 2.66$$

2.2. Traduction de ces modèles en termes d'algorithmes

Nous avons donc formalisé les bases des modèles qui seront utilisés par la suite. Cependant ils ne sont pas encore adaptés aux calculs de longueur d'embouteillages.

Dans les deux cas les modèles ont pour hypothèses :

- L'écoulement est perturbé par un véhicule leader qui avance à une vitesse V_l sur une distance d
- L'écoulement se fait sur une seule voie avec impossibilité de la quitter ou de doubler le véhicule précédent
- Les variables d'entrées seront la vitesse du véhicule leader (V_l), la vitesse du flot en amont qui se déplace à vitesse maximale (V_{max}), le débit de ce flot (q) et enfin la distance parcourue par le véhicule leader (d).

2.2.1 Modèle microscopique de bouchon

On définit comme ralentissement à un instant t , la distance qui sépare le véhicule leader avec le véhicule le plus éloigné qui a sa vitesse inférieure à la vitesse maximale. Cela se traduit par l'algorithme :

Lister les véhicules pour lesquels la vitesse est inférieure à V_{max}

Soustraire la position du dernier véhicule de cette liste à la position du véhicule leader afin d'obtenir la longueur du ralentissement à cet instant

Mettre cette distance dans la liste B

Ainsi en positionnant cette recherche de longueur de sorte à ce qu'elle soit répétée toute la durée de la simulation, on obtient une liste B qui montre l'état du bouchon en fonction du temps. En utilisant la valeur maximale de cette liste on obtient alors la longueur maximale du ralentissement qu'occasionne le véhicule perturbateur.

En plus de cette recherche de longueur de ralentissement, le choix a été fait de créer les véhicules du flot au fur et à mesure que le temps passe plutôt que d'utiliser en entrée, une liste comprenant un grand nombre de véhicules car ne pouvant pas connaître à l'avance de nombre de véhicules impliqués et donc la taille de la liste à utiliser. C'est à dire qu'au lancement du programme, la liste des véhicules est composée uniquement du véhicule leader et qu'à intervalle régulier (dépendant du débit mis en variable d'entrée) un véhicule est ajouté à la liste. Chaque véhicule créé se voit attribuer la vitesse V_{max} ainsi qu'une position dépendante du véhicule qui le précède, le véhicule ajouté est créé à une distance égale à la distance de sécurité (associée à la vitesse maximale) de son véhicule prédécesseur. Cela se transcrit de la manière suivante:

On ajoute à t le pas de temps τ

Si le temps t est supérieur au temps voulu séparant deux véhicules alors :

Ajouter un véhicule à la liste avec pour vitesse V_{max} et pour position la position du véhicule qui le précède moins la distance de sécurité.

Remettre t à la valeur 0

On obtient donc comme algorithme du modèle microscopique :

Tant que le premier véhicule de la liste n'a pas parcouru la distance d :

Pour tous les véhicules i :

Attribuer la nouvelle position du véhicule = $xt + \tau * vt$

Pour tous les véhicules sauf le premier :

calculer la distance de sécurité ds

si la distance du véhicule avec son prédécesseur est $< d_s$:
 lui attribuer la vitesse maximale entre 0, $v_t - b \cdot \tau$
 sinon :
 lui attribuer la vitesse minimale entre v_{max} , $v_t + a \cdot \tau$ et
 la vitesse de sécurité

Lister les véhicules pour lesquels la vitesse est inférieure à V_{max}
 Soustraire la position du dernier véhicule de cette liste à la
 position du véhicule leader afin d'obtenir la longueur du
 ralentissement à cet instant

Mettre cette distance dans la liste B

On ajoute à t le pas de temps τ

Si le temps t est supérieur au temps voulu séparant deux
 véhicules alors :

Ajouter un véhicule à la liste avec pour vitesse V_{max} et
 pour position la position du véhicule qui précède moins
 la distance de sécurité.
 Remettre t à la valeur 0

2.2.2 Modèle macroscopique de bouchon

Dans la réalité, la chaussée n'est jamais homogène du point de
 vue de la concentration et de la vitesse du flot de véhicule. Une
 partie de la chaussée est dense (vitesse faible et concentration
 élevée nommé A) a contrario une autre est plutôt dégagée
 (vitesse élevée et concentration faible nommé B). Lorsque le flot
 qui est dégagé atteint le flot plus dense, il épouse sa vitesse et sa
 concentration, de ce fait la longueur de zone à vitesse faible ce
 voit agrandie au fur et à mesure que le flot rapide et peu
 concentré arrive sur le flot de tête. On sait aussi que chaque
 nouveau véhicule rencontrant la queue du peloton se voit
 devenir celle-ci. Le but ici est donc de déterminer à quelle vitesse
 se propage la queue du peloton. Soit w_{AB} la vitesse de
 propagation de la queue de peloton dans l'écoulement du trafic.
 Supposons un observateur se déplaçant à cette vitesse. De ce
 point de vue la vitesse du flux A est de $V_l - w_{AB}$ et le nombre de
 véhicule passant par en A et de $N_A = C_A(V_l - w_{AB}) \cdot dt$ de même
 pour le flot B on a : la vitesse qui est de $V_{max} - w_{AB}$ et
 $N_B = C_B(V_{max} - w_{AB}) \cdot dt$.

En prenant A et B très proche on a alors $N_A = N_B$ ce qui donne
 la relation suivante :

$$C_A(V_l - w_{AB}) \cdot dt = C_B(V_{max} - w_{AB}) \cdot dt$$

En isolant w_{AB} et en utilisant la définition du débit qui est
 $D = C \cdot V$ on a :

$$w_{AB} = (D_A - D_B) / (C_A - C_B)$$

Il reste donc à déterminer la durée que le véhicule leader met
 à parcourir la distance souhaitée et aussi la vitesse de la queue de
 peloton. Tous ceci se traduit en terme d'algorithme par :

$$C_A = (156 - V_l) / 2.66 \text{ (modèle de Greenshield)}$$

$$D_A = C_A \cdot V_l$$

$$C_B = q / V_{max}$$

$$w_{AB} = (D_A - q) / (C_A - C_B)$$

$$V_q = V_l - w_{AB}$$

$$dt = d / V_l$$

$$L = dt \cdot V_q$$

Retourner L

2.3 Méthode de comparaison

Le but de cette étude étant de comparer les deux modèles
 présentés, la comparaison se fera sur leur temps de calcul
 respectif ainsi que les résultats obtenus.

Pour ce faire, une série de simulations seront faites en
 fixant tous les paramètres à l'exception d'un, afin de voir
 comment les résultats ainsi que les temps de calcul obtenus par
 ces modèles réagissent aux variations des variables d'entrées.

Ces modèles seront donc comparés sur les résultats
 obtenus par la variation de la vitesse du véhicule leader (V_l), de
 la variation de la vitesse des véhicules en amont du
 ralentissement (V_{max}) ainsi que le débit de ceux-ci (q) et enfin les
 variations dues à la longueur parcourue par le véhicule leader
 (d).

3. Cas d'étude

Le but de ce cas d'étude est d'exposer une situation qui
 est au plus possible en adéquation avec les hypothèses retenues.
 C'est à dire un cas où un véhicule possédant une vitesse réduite
 se trouve sur une route où il y a impossibilité de doubler.

Le choix a donc été fait de placer dans la situation
 suivante :

- Sur une départementale limitée à 80km/h, un véhicule
 roule à vitesse réduite en heure de pointe.

- Les vitesses choisies pour les véhicules leader iront de
 20km/h (vitesse pour les tracteurs agricoles sur route
 départementales) jusqu'à 75km/h (vitesse pour les poids-lourds)

- Les longueurs parcourues par les véhicules seront
 comprises entre un et dix kilomètres.

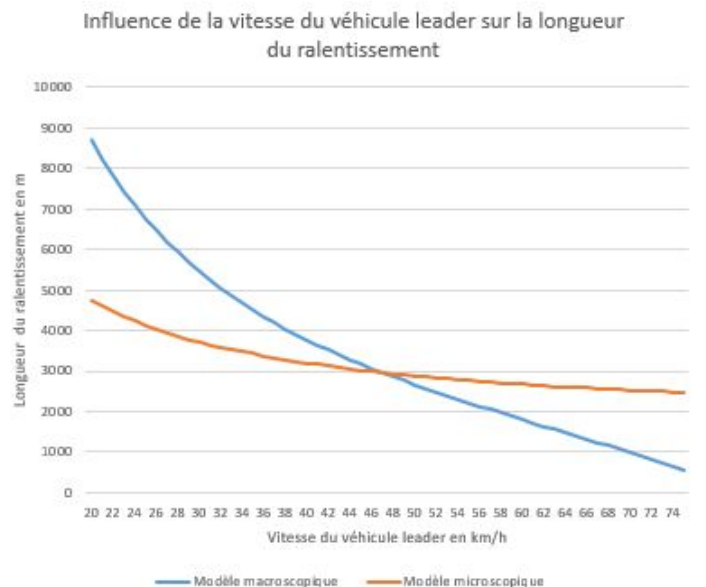
- Le débit de véhicule présent en amont du ralentissement
 sera lui compris entre 500 uvp/h et 2000 uvp/h

4. Résultats

Pour l'ensemble des paramètres définis précédemment,
 tous seront fixés à l'exception d'une seule qui aura comme plage
 de variation celle définie.

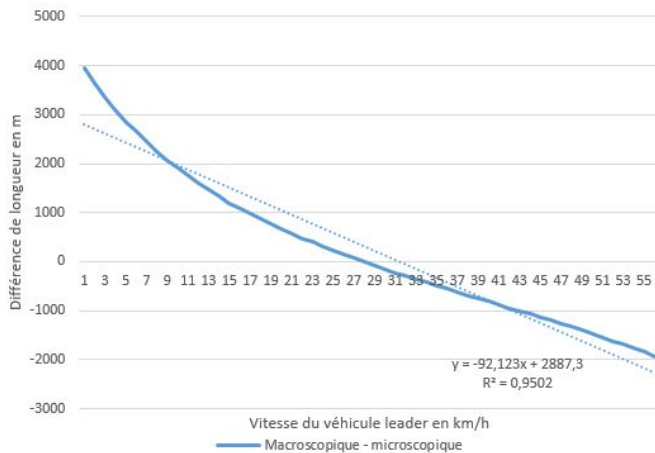
4.1.1 Présentation des résultats

Pour le premier test nous avons fait varier la vitesse du
 véhicule leader sur l'ensemble de son domaine de définition,
 c'est à dire de 20 à 75 km/h pour une distance parcourue fixée à
 5 km ainsi qu'un débit à 1500 uvp/h et d'une vitesse maximale
 autorisée de 80 km/h



On remarque que les courbes obtenues proposent des
 résultats bien différents, on peut cependant noter que les courbes
 ont toute deux des allures hyperboliques. Lorsque l'on s'intéresse
 à l'écart présent entre chaque courbe on peut remarquer que
 celui-ci est quasiment proportionnel à la vitesse.

Différence des longueurs obtenues avec la variation de vitesse entre le modèle macroscopique et microscopique



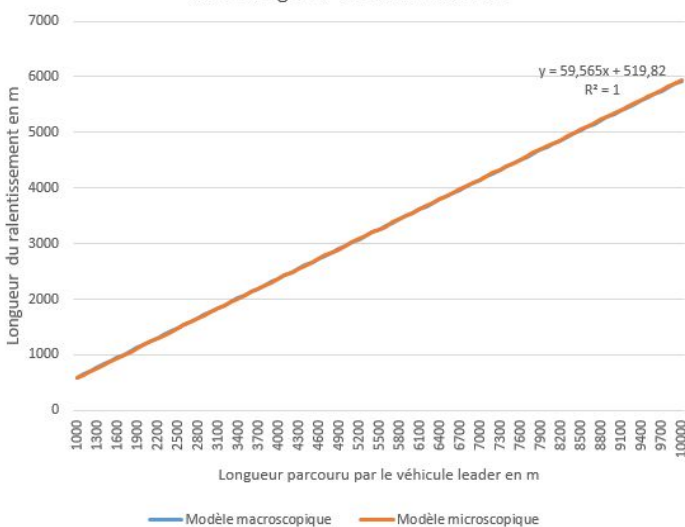
On obtient comme régression linéaire la relation suivante :

$R^2=0.95$ ce qui démontre bien l'écart est proportionnel

On note également qu'à une vitesse de 47 km/h les deux modèles donnent un résultat quasiment identique. Dans la suite on prendra donc comme vitesse celle du véhicule leader: 47 km/h.

Afin de voir quelle influence a la distance parcourue par le véhicule perturbateur sur le résultat, on réalise une nouvelle simulation avec les mêmes paramètres que celle précédente à la différence que la vitesse du leader est fixée à 47 km/h et que la distance parcourue varie entre 1 km et 10 km.

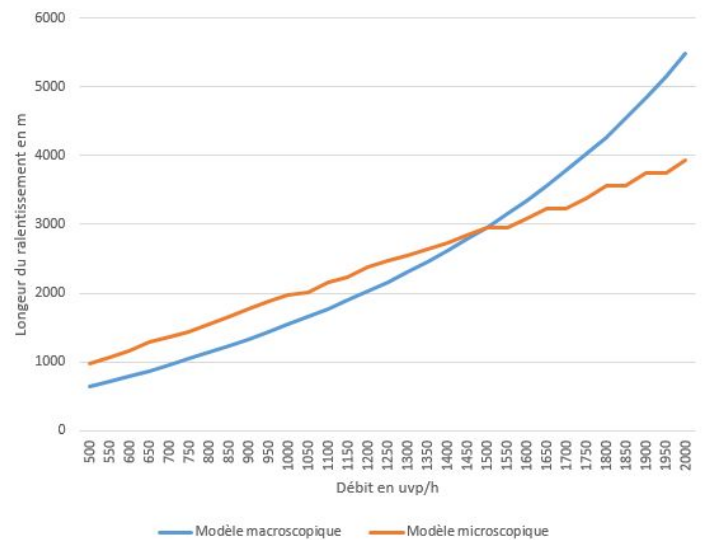
Influence de la distance parcourue par le véhicule leader sur la longueur du ralentissement



On constate que les deux courbes obtenues sont linéaires et confondues. Ce qui démontre que les deux modèles ont une sensibilité équivalente et que dans les deux cas la longueur du ralentissement est proportionnelle à la longueur parcourue avec un coefficient de détermination de 1.

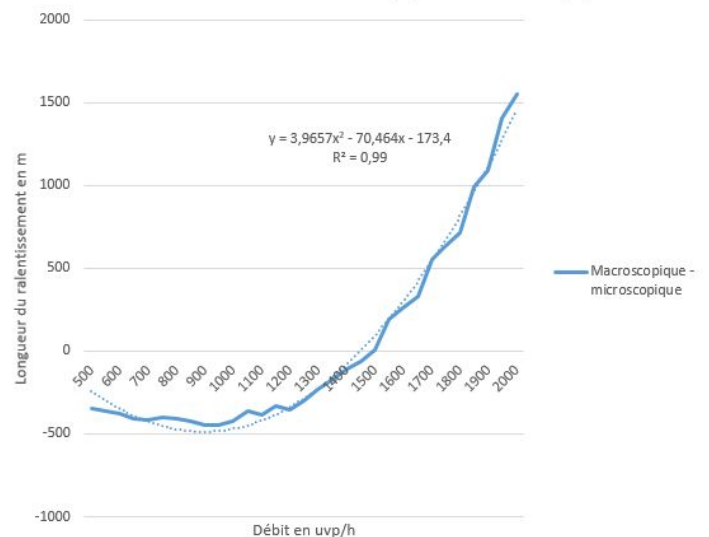
Et enfin on cherche à connaître l'influence du débit en amont de la zone perturbée. On garde donc la vitesse de 47km/h ainsi qu'une longueur parcourue de 5km. On obtient ainsi le graphique suivant :

Influence du débit en amont du ralentissement sur la longueur du ralentissement



On voit que pour les débits faibles les modèles se comportent de manière linéaire et qu'à partir d'un certain débit le modèle macroscopique ne se comporte plus de manière linéaire mais de manière hyperbolique, alors que le modèle microscopique lui reste relativement linéaire.

Différence des longueurs obtenues avec la variation de débit entre le modèle macroscopique et microscopique



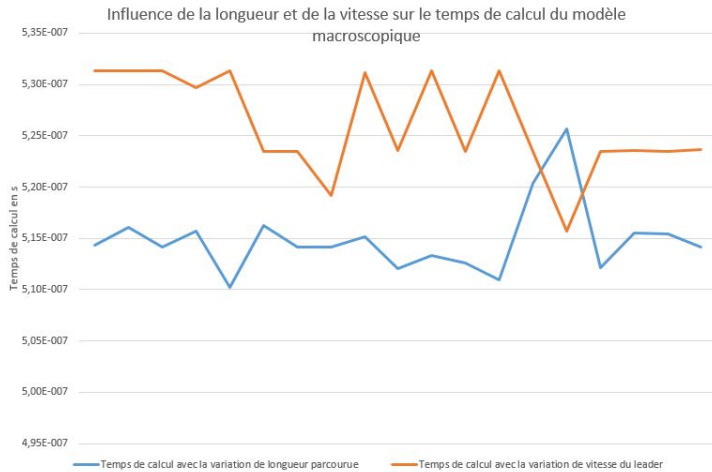
En s'intéressant à l'écart qu'il y a entre les courbes on remarque que celui-ci est parabolique ce qui montre bien que les modèles ne varient pas de la même manière et que leur sensibilité au variation de débit est différente.

4.1.2 Présentation des temps de calculs

En parallèle de toutes ces simulations les temps de calcul ont été collectées dans chacun des cas présentés et pour chacun des modèles. Il est nécessaire de rappeler que tous ces temps de

calcul ont été trouvés avec le même ordinateur et dans des conditions de fonctionnement identiques, c'est à dire avec un ordinateur branché à 100% de batterie ainsi qu'avec comme seul logiciel actif le logiciel ayant permis de coder les modèles et faire les simulations.

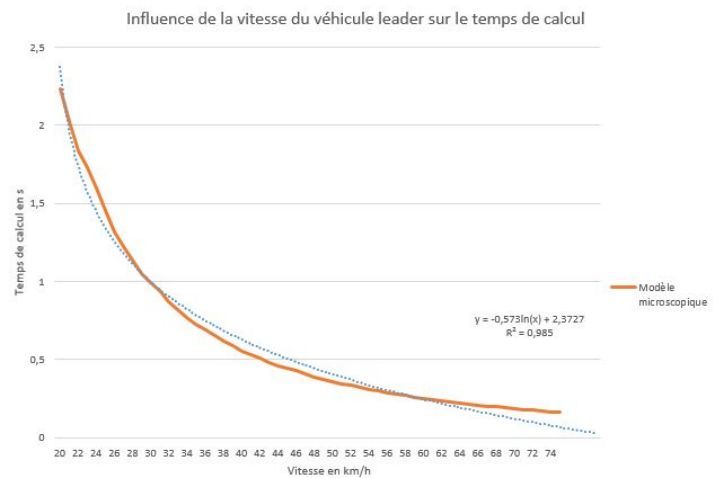
Dans un premier temps on constate que pour l'ensemble des simulations le temps de calcul pour le modèle a été quasiment identique (quelques variations sont observées mais ne semblent pas être corrélées avec la variation des paramètres d'entrées)



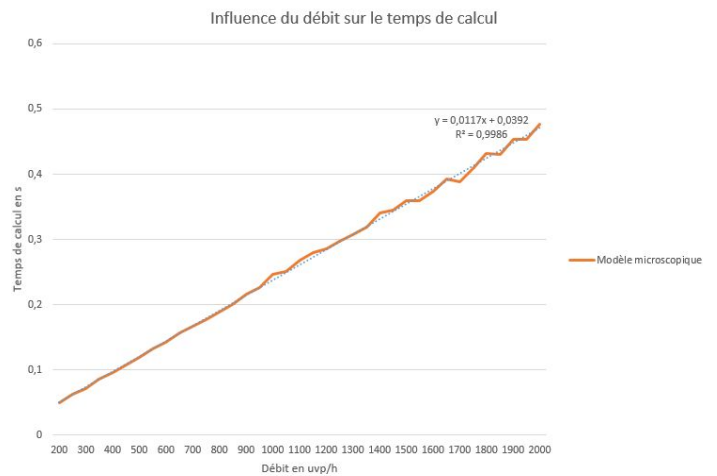
A travers ces deux exemples on voit que ni la vitesse, ni la longueur parcourue par le véhicule leader ont une influence significative sur le temps de calcul. Ce qui n'est pas le cas du modèle microscopique.



Comme on peut le voir, le modèle microscopique voit son temps de calcul augmenter de manière parabolique avec la longueur parcourue. Et aussi que celui-ci décroît de manière logarithmique avec l'augmentation de la vitesse.



Quant à l'influence que le débit a sur le temps de calcul c'est le seul qui est linéaire comme le montre le graphique suivant.



De plus il est remarquable, qu'en plus d'avoir des temps de calcul qui varient pour l'un des modèles et que l'on peut considérer constant pour l'autre, ces temps de calcul ne sont pas du même ordre de grandeur. Le modèle macroscopique a des temps de calcul de l'ordre de la dizaine de nanoseconde alors que le modèle microscopique dans l'ordre de la seconde.

4.2. Explication des différences de résultat

L'écart important de temps de calcul peut être expliqué par le fonctionnement même des modèles. En effet le modèle hydrodynamique ne possédant aucune itération, il est prévisible que celui-ci ait un temps de calcul constant. En revanche le modèle microscopique fait appel à de nombreuses itérations qui se font sur un effectif de plus en plus grand au fur et à mesure que le temps passe (ici on parle bien du temps relatif aux véhicules de la simulation), c'est pourquoi le temps de calcul de celui-ci augmente lorsque le premier véhicule parcourt une distance plus grande ou encore que sa vitesse diminue.

5. Conclusion

5.1. Conclusion générale

L'objectif de cette étude était double. Il s'agissait d'étudier l'influence des paramètres d'entrées sur les résultats obtenus par un modèle de loi de poursuite et d'un modèle hydrodynamique d'une part mais aussi l'évolution du temps de calcul de ceux-ci.

Malgré des résultats qui ne convergent pas forcément, on a pu remarquer que ces derniers variaient de la même manière que ce soit pour la vitesse du véhicule de tête avec une variation hyperbolique ou encore avec la longueur parcourue qui elle fait varier les résultats de manière linéaire.

Quant aux temps de calcul qui sont drastiquement différents, constant pour le macroscopique et qui augmente de manière exponentielle pour le microscopique.

On peut donc en conclure que la précision du modèle de loi de poursuite (connaître pour chaque pas de temps et pour chaque véhicule sa vitesse ainsi que sa position) se traduit par un temps de calcul beaucoup plus long, ce qui positionne bien ce genre de modélisation en tant qu'outil de précision à faible échelle alors que le modèle hydrodynamique peut lui être utilisé à toute échelle grâce à un temps de calcul qui ne varie pas et qui est beaucoup plus rapide.

5.2. Autocritique

Cependant certains choix forts ont été fait dans la création des modèles qui peuvent expliquer l'écart présent entre les deux modèles. Par exemple, dans le modèle de loi de poursuite tous les véhicules possèdent la même accélération ainsi que la même décélération et sont de la même longueur. De plus, les conducteurs sont considérés comme identiques puisqu'ils ont tous le même temps de réaction. Aucune variation aléatoire de ces paramètres n'a été mise en place pour ce concentrer sur la variation des résultats et non pas sur les résultats eux mêmes. De plus, le choix de la distance de sécurité (qui prend en compte seulement la vitesse du véhicule concerné) ainsi que la vitesse de sécurité du modèle microscopique et le choix d'utiliser le modèle de Greenshield pour le modèle macroscopique explique l'écart qui peut être important entre les résultats obtenus.

5.3. Perspective de recherches

Afin de pousser l'étude plus loin, une comparaison avec des observations réelles permettrait de calibrer les modèles et de comparer avec d'autres modèles microscopiques (en utilisant des distances de sécurité dépendant de la vitesse et de l'accélération du véhicule concerné et de son prédécesseur) et d'autres modèles macroscopiques tels que celui de May (qui propose une relation exponentielle entre la vitesse et la concentration au lieu d'une simple relation linéaire)

De plus, en incorporant de l'aléatoire dans le modèle microscopique au niveau des caractéristiques on pourrait se rapprocher de situation réelle où les véhicules ne sont justement pas tous identiques.

Annexe

Programmes utilisés pour l'ensemble des simulations

```
1 def micro (tau,Vl,d,Vmax,q) :
2     vl,vmax=Vl/3.6,Vmax/3.6
3     l=4
4     b=10
5     L=[[(vmax-vl)*vmax/b,vl]]
6     N=len(L)
7     a=3
8     t=0
9     D=0
10    ti=3600/q
11    Tr=0.5
12    B=[]
13    while L[0][0] < d:
14        i=0
15        while i < N :
16            xt=L[i][0]
17            vt=L[i][1]
18            L[i][0]=xt+vt*tau
19            if i < 1 :
20                L[i][1]=vl
21            else :
22                ds= l*(1+ vt*3.6/16.1) + l
23                if (L[i-1][0]-xt)<ds:
24                    L[i][1]=max(0,vt - b*tau)
25                else :
26                    L[i][1]=min(vt + a*tau,vmax,L[i-1][1]+(L[i-1][0]-xt-L[i-1][1]*Tr)/((vt+L[i-1][1])/(2*b)+Tr))
27            i=i+1
28        k=0
29        lb=[]
30        while k < N :
31            if L[k][1] < vmax :
32                lb.append(k)
33            k=k+1
34        Bt=L[min(lb)][0]-L[max(lb)][0]
35        B.append(Bt)
36        D=D+tau
37        t=t+tau
38        if t>ti :
39            L.append([L[-1][0]-l*(1+ vmax*3.6/16.1) - l,vmax])
40            N=len(L)
41            t=0
42        else :
43            N=len(L)
44    return(max(B))
45
46 def macro(Vl,d,Vmax,q):
47     Ca=(156-Vl)/2.66
48     Da=Ca*Vl
49     Cb=q/Vmax
50     wAB=(Da-q)/(Ca-Cb)
51     Vq=Vl-wAB
52     dt=d/Vl
53     L=dt*Vq
54     return(L)
```