

RAPPORT

CETE de LYON

Centre d'Études
Techniques
de LYON

Département Mobilités
PCI RDRT

Affaire
570038

Mars 2013

Capacité des écluses routières

Modèle et outils

Mars 2013



Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

CERTU
2 rue Antoine Charial
CS 33927
69426 LYON cedex 03

Capacité des écluses routières

Modèle et outils

Rapport

Mars 2013

Date	Version	Commentaires
Octobre 2012	Rev0	Rédaction des parties 1 et 2 par Aurore Clavel Rédaction de la partie 3 par Aurélien Duret
Novembre 2012	VT3	Rédaction section « Estimation de la courbe de capacité de Tassin » par Aurélien Duret
Novembre 2012	VT4	Rédaction section « Abaques de capacité » par Aurélien Duret
Novembre 2012	VT5	Ajout de schéma par Aurore Clavel
Décembre 2012	VT6	Rédaction section « outil simulation dynamique » par Fabrice Reclus
Décembre 2012	VT7	Corrections par Aurélien Duret
Décembre 2012	VT8	Intégrations des remarques de Frédéric Murard
Janvier 2013	VT9	Intégrations des remarques de Stéphane Chanut
Mars	VT10	Intégrations des remarques du CERTU

CETE69_R2_DM_Rapport_Rev4



Département Mobilités PCI RDRT
25, avenue François Mitterrand
CS 92803
69674 BRON CEDEX
Tél.: +33 (0)4 72 14 31 24 - Fax.: +33 (0)4 72 14 31 20
Courriel : dmob.cete-lyon@developpement-durable.gouv.fr

Récapitulatif de l'affaire

Client :	Olivier BAILLE CERTU 2 rue Antoine Charial CS 33927 69426 LYON cedex 03
Objet de l'étude :	Capacité des écluses routières
Résumé de la commande :	Obtenir des abaques de capacité suivant la longueur de l'écluse, les flux de chaque sens de circulation et les règles de priorité.
Référence dossier :	Affaire 570038
Offre :	Devis N° 21-2011-D-184 et proposition technique et financière 570038-21-2011-D-184 envoyé le 11 octobre 2011
Accord client :	08 novembre 2011
Diffusion/Archivage :	Documentation CETE de Lyon
Chargé d'affaire :	Aurore CLAVEL –Département Mobilités PCI RDRT – Tél. +33 (0)4 72 14 31 24 / Fax +33 (0)4 72 14 31 20 Courriel : dmob.cete-lyon@developpement-durable.gouv.fr
Constitution de l'équipe :	Aurore CLAVEL : coordination et montage des enquêtes Aurélien DURET : élaboration du modèle et développement Frédéric MURARD : contrôle externe Fabrice RECLUS : application du modèle
Mots Clés :	Infrastructures, Transports, Sécurité Routière, Ecluse
ISRN :	

Liste des destinataires

Contact	Adresse	Nombre - Type
Olivier BAILLE	CERTU 2 rue Antoine Charial CS 33927 69426 LYON cedex 03	1 exemplaire papier 1 version électronique

Conclusion – Résumé

Le CETE de Lyon a établi un modèle de capacité pour les écluses routières.

Ce modèle a permis de développer deux outils :

- un tableur (développé sous Excel) qui permet d'obtenir des abaques de capacité en fonction des caractéristiques de l'écluse et de son site d'implantation.
- un outil de simulation dynamique (développé sous Matlab) qui permet d'estimer l'évolution de la longueur de la file d'attente au cours d'une période de pointe.

Bron, le 25 mars 2013

Stéphane CHANUT
responsable du PCI régulation dynamique des transports

Olivier RICHARD
Responsable de l'unité d'évaluation des politiques et systèmes de déplacements

Sommaire

Cadre de travail.....	5
Contexte.....	5
Contenu de la mission.....	5
Données expérimentales.....	6
Observations terrain préalables.....	6
Recueil de données.....	9
Estimation de la courbe de capacité.....	11
Modèle de capacité d'une écluse routière.....	18
Entrées du modèle.....	18
Calcul de la capacité.....	22
Outil d'estimation de courbe de capacité.....	24
Présentation de l'outil.....	24
Exemple d'application sur l'écluse de Tassin la Demi-Lune.....	27
Exemple d'abaques de capacité – Tests de sensibilité.....	28
Outil de simulation dynamique de l'écoulement.....	31
Présentation de l'outil.....	31
Fonctionnement de l'outil.....	31
Exemple d'application sur l'écluse de Tassin la Demi-Lune.....	32
Validation du modèle dynamique.....	37
Conclusion.....	42
Principaux résultats.....	42
Suites envisageables à cette étude.....	42

Cadre de travail

Contexte

Publication du guide CERTU 2012

Le Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU) a publié, en **avril 2012**, un guide sur les chicanes et écluses sur voiries urbaines.

Écluse routière

Une écluse est une **section de route à une voie et à double sens de circulation**. On trouve deux catégories d'écluse :

- écluse simple : rétrécissement de chaussée d'un seul côté,
- écluse double : rétrécissement d'un côté puis de l'autre (forme en S).

Exemple de calcul de capacité

Ce guide présente un exemple de calcul de capacité d'une écluse réalisé par le Centre d'études techniques (CETE) Méditerranée.

Problématique

Le CERTU voudrait disposer d'un utilitaire à destination des aménageurs d'écluses et qui pourrait paraître sous forme d'un rapport d'études complémentaire au guide.

Il permettrait d'**évaluer la capacité de l'aménagement** en fonction :

- des paramètres de l'écluse (longueur / vitesse / etc.),
- des flux de chaque sens de circulation,
- des règles de priorité.

Contenu de la mission

Objectif

L'objectif est de proposer un **outil** valide permettant d'**estimer les régimes de capacité** d'une écluse.

Les résultats se présenteront sous la forme de **courbes d'abaque**, représentant la capacité du sens non-prioritaire en fonction du débit dans le sens prioritaire. La forme de ces courbes dépendra de plusieurs paramètres, dont le temps de traversée de l'écluse.

Trois phases

La mission du CETE de Lyon s'est divisée en trois phases :

- le **recueil de données** terrain sur une écluse présentant des files d'attente (régime capacitaire),
- l'élaboration d'un modèle de capacité d'écluse dont les résultats peuvent être visualisés sous la forme de **courbes d'abaque**,
- l'élaboration d'un outil de **simulation dynamique**, visant à tester le modèle de capacité et vérifier que les files d'attente sont correctement reproduites.

Recueil de données

Une campagne de recueil de données a été réalisée en juin 2012. Ces données permettent d'affiner notre compréhension du fonctionnement d'une écluse et de poser les bases pour l'élaboration d'un modèle de capacité d'écluse.

Abaque de capacité

Un modèle de capacité est ensuite élaboré. Les résultats de ce modèle permettent de construire les abaques de capacité d'une écluse en fonction des débits entrants et de ses paramètres (longueur, vitesse et priorités indiquées). Ce modèle est confronté aux données recueillies sur le terrain afin de caler le modèle.

Simulation dynamique

Un outil de simulation dynamique est développé. Cet outil vise à reproduire l'évolution de la longueur de la file d'attente dans le sens non-prioritaire d'une écluse. Pour cela, il faut renseigner les demandes (dynamiques) en amont de chacune des branches de l'écluse, et définir les paramètres de l'écluse.

Données expérimentales

Observations terrain préalables

Typologie des écluses routières

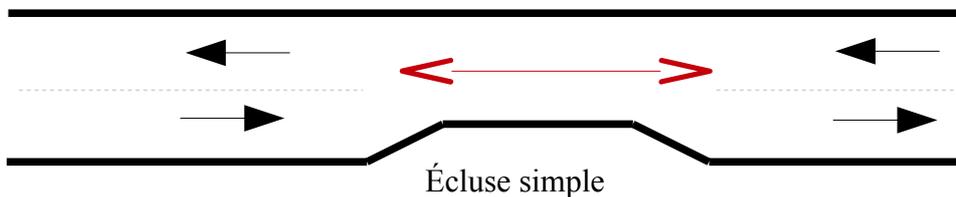
Afin de prendre en compte l'impact de la longueur et des règles de priorité, il faut observer des sites pour lesquels des remontées de file sont présentes aux heures de pointe.

Les règles de priorité sont matérialisées par deux panneaux : un dans chaque sens de circulation.

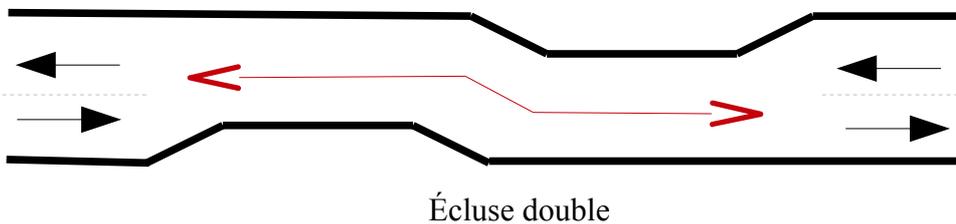
Dans le sens prioritaire	Dans le sens non prioritaire
B15 	C18 

Dans l'idéal, il faut donc observer au minimum trois sites avec les caractéristiques suivantes :

- un site comportant une **écluse simple** d'une longueur faible (proche de 5 m) avec une règle de priorité définie par un panneau,



- un site comportant une **écluse double** (décalage à gauche puis décalage à droite par deux ilots implantés en quinconce) d'une longueur de 20 m avec une règle de priorité,



- un site comportant une **écluse sans priorité**.

Observations terrain préalables (suite)

3 sites observés

Le CERTU a proposé le recueil de données sur trois écluses de la région lyonnaise. Ces écluses ont été observées lors d'une sortie terrain le **19 janvier 2012** :

- à l'**heure de pointe du matin** pour Tassin la Demi-Lune,
- à l'**heure de pointe du soir** pour Saint-Priest et Toussieu.

Site	Saint-Priest	Tassin la Demi-Lune	Toussieu
Adresse	chemin St Bonnet de Mure	10 rue François Mermet	route de la rocade
Écluse	simple	simple	double
Règle de priorité	oui	oui	oui
Longueur	15 m	35 m	105 m

Les observations ont été faites sur des écluses avec régime de priorité imposé par panneaux. En revanche, aucune observation n'a été réalisée sur une écluse sans priorité.

Analyse qualitative

Les observations qualitatives se sont focalisées sur la présence de remontées de file, le respect des règles de priorité et la distance du cédez-le-passage. Les résultats sont résumés dans le tableau qui suit.

Site	Saint-Priest	Tassin la Demi-Lune	Toussieu
Remontée de file	quelques unes	nombreuses	aucune
Non respect des règles de priorité	1 / 1 heure d'observations	2 / 1 heure d'observations	Pas mesurable**
Distance de cédez-le-passage estimée	≈ 50 m*	≈ 50 m*	Pas mesurable**

* Cf page 26 pour plus de détail sur la définition et l'estimation de la distance de cédez-le-passage.

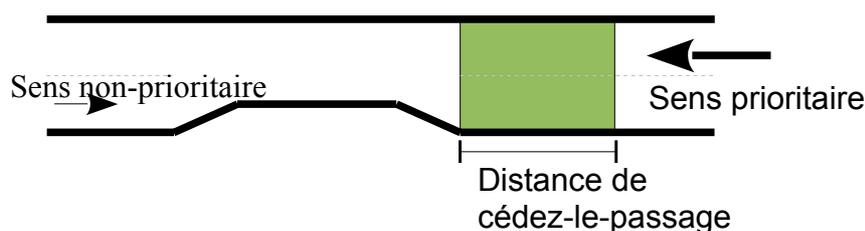
** Le trafic sur cette écluse étant très faible, on ne peut observer de façon significative ni le respect des règles de priorité ni la distance de cédez-le-passage.

Respect des règles de priorité

Sur ces trois écluses, on observe un bon **respect des règles de priorité**, même en présence de files d'attente. Les rares violations de priorité observées ne perturbent pas le fonctionnement courant de l'écluse.

Distance de cédez-le-passage

La distance de cédez-le-passage est la distance entre le début du rétrécissement et le point le plus éloigné à partir duquel le véhicule prioritaire vu par le véhicule non-prioritaire entraîne l'arrêt de ce dernier.



A noter qu'au cours des observations de terrain, notre présence **influçait le comportement naturel des automobilistes** et modifiait notamment la distance de cédez-le-passage. Néanmoins, l'ordre de grandeur de ce paramètre peut facilement être estimé.

Observations terrain préalables (suite)

Choix de l'écluse pour le recueil approfondi

Sur les trois écluses observées, seule l'écluse de **Tassin la Demi-Lune présente une file d'attente durable** durant l'heure de pointe d'observation. C'est donc sur ce site qu'un recueil de données détaillées a été mis en place.

Recueil de données

Site retenu

Pour ce recueil, le CETE de Lyon a écrit le cahier des charges. Le choix du prestataire ainsi que le suivi des enquêtes a été réalisé en commun avec le CERTU. L'écluse est formée par un pont sous la voie de chemin de fer.

En amont du sens prioritaire, on note la présence d'un carrefour à cédez-le-passage (~80m de l'écluse) et d'un carrefour à feux (~280m de l'écluse).

En amont du sens non-prioritaire, on trouve un carrefour à feu (~100m de l'écluse).

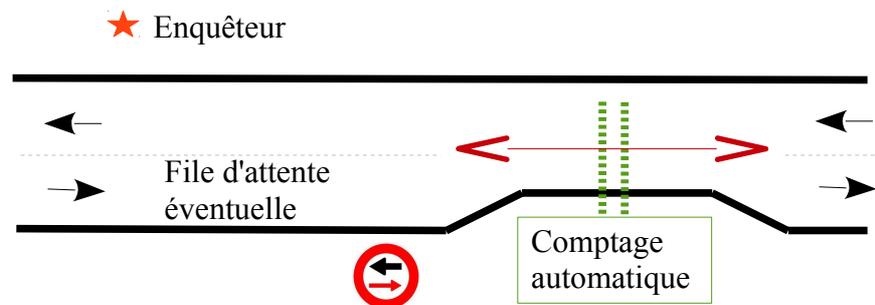


Schéma du site expérimental et équipements de mesure



Photo du compteur pneumatique in situ

Données mesurées

Le recueil de données a permis la mesure :

- **des débits et des vitesses** dans l'écluse (par un compteur pneumatique) agrégés par minute,
- du **nombre de véhicules en file d'attente** dans le sens non-prioritaire (par un observateur) toutes les minutes.

Recueil de données (suite)

Période de recueil

Les données ont été recueillies **entre le lundi 11 juin 2012 et le vendredi 15 juin 2012** pendant les périodes de pointe du matin (7h-9h) et du soir (16h-19h).

Qualité des données mesurées

Après avoir vérifié l'exhaustivité des mesures, on procède à une analyse qualitative. On observe un décalage entre les mesures manuelles et automatiques.

Ce décalage s'explique par une **différence d'horodatage** entre le compteur automatique et le smart-phone utilisé par le prestataire pour le recueil manuel de la longueur de file d'attente.

Cependant l'agrégation des données par périodes de 5 minutes a permis d'augmenter la durée de superposition de 50 à 90 % (comme le présente le schéma ci dessous) et donc l'utilisabilité des données.

Données par minute

8h00 8h01 : horodatage 1



<-> 30s de superposition => 50%



8h00 8h01 : horodatage 2

Données agrégées par 5 minutes

8h00

8h05 : horodatage 1



<-> 270s de superposition => 90%



8h00

8h05 : horodatage 2

Estimation de la courbe de capacité

La courbe de capacité représente la capacité du sens non-prioritaire en fonction de la demande dans le sens prioritaire.

Filtrage des données

Le jeu initial de données présente des données sans file d'attente, avec des files d'attente éphémères ou encore avec des files d'attente pérennes. Pour estimer la courbe de capacité d'une écluse, **il faut se limiter aux points de mesures entièrement congestionnés**. On réalise alors un filtrage des données en plusieurs étapes.

Étape 1 Une première étape consiste à **exclure** les données pour lesquelles **aucune file d'attente** n'est présente au cours des 5 minutes de recueil. Ces données sont facilement identifiables dans la table des données mesurées et correspondent à 5 minutes successives durant lesquelles aucune file d'attente n'est présente.

Période	Heure	Nombre de véhicules en file
7h20-->7h25	7h21	0
	7h22	0
	7h23	0
	7h24	0
	7h25	0

Étape 2 Dans une deuxième étape, on **élimine les périodes mixtes fluides/congestionnées**. Ces périodes correspondent à 5 minutes successives au sein desquelles les mesures montrent la présence de file d'attente à la fin de certaines minutes, et leur absence à la fin d'autres minutes.

Période	Heure	Nombre de véhicules en file
7h25-->7h30	7h26	2
	7h27	4
	7h28	0
	7h29	2
	7h30	0

Après ces deux premiers filtres, il reste finalement les points 5' pour lesquels on a mesuré la présence d'une file d'attente à la fin de chacune des minutes. La figure suivante illustre les résultats de ce filtre sur les 5 jours de mesure.

Estimation de la courbe de capacité (suite)

Filtrage des données (suite)

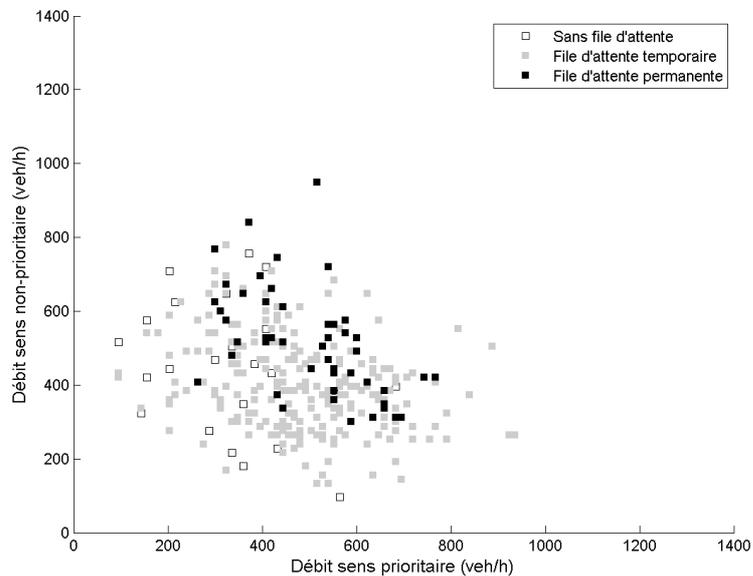
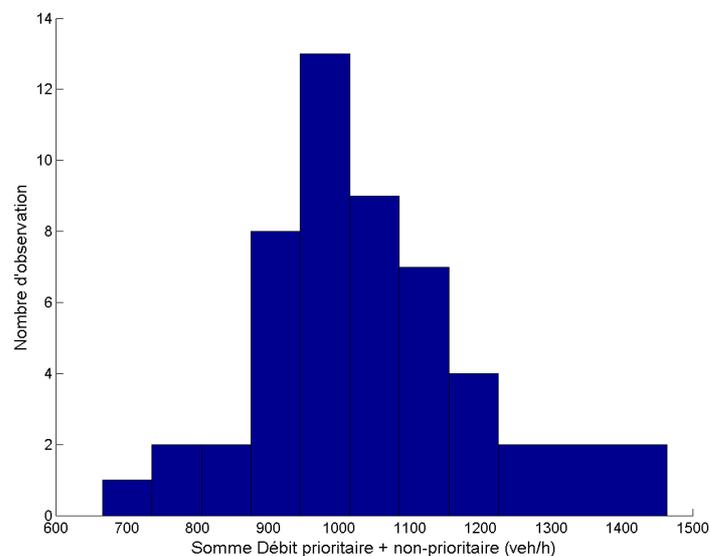


Illustration du processus de filtrage des données congestionnées

On observe sur cette illustration que les points de mesure des périodes entièrement congestionnées (carrés noirs) **restent très dispersés**. Ils ne sont donc pas représentatifs de la courbe de capacité. Cela s'explique par le fait qu'au cours d'une période entièrement congestionnée, même si une file d'attente a été observée à la fin de chacune des minutes d'observation, il est possible que cette file d'attente ait disparu pendant quelques dizaines de secondes avant de rapidement se reformer. Il faut donc appliquer un dernier filtre à ces données congestionnées.



Distribution de la somme des débits prioritaires et non-prioritaires

Estimation de la courbe de capacité (suite)

Filtrage des données

(suite)

Étape 3 Une rapide analyse nous montre que la somme des débits prioritaires et non-prioritaires est **distribuée autour d'une valeur médiane d'environ 1000 veh/h**, comme le montre la figure ci-dessus.

Cette distribution, non symétrique, nous indique que les **mesures inférieures à la médiane** sont moins fréquentes que celles supérieures à la médiane. On considère qu'elles sont moins représentatives du comportement capacitaire de l'écluse. On choisit donc de les **exclure**.

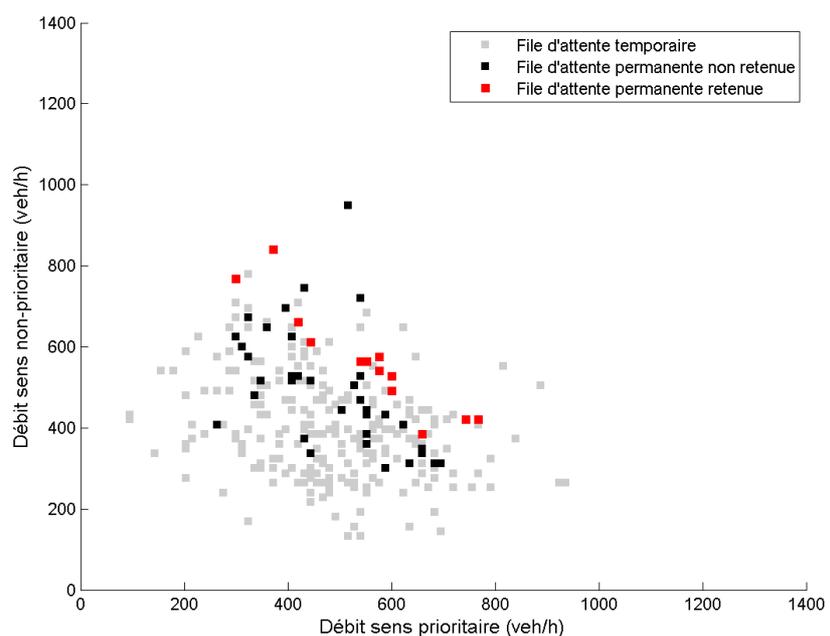
On cherche à conserver les observations où la file d'attente ne se résorbe pas pendant la minute d'observation. On conçoit aisément qu'une file d'attente de 2 ou 3 véhicules ne garantit pas la présence continue d'une file d'attente pendant la minute qui a précédé. On choisit donc de se limiter aux files d'attentes les plus longues observées. On pourrait fixer la longueur minimale de file d'attente observée à 9 véhicules mais, dans ce cas, on ne conserverait alors que 7 points de mesures sur la semaine d'observation.

Longueur de la file d'attente	Nombre d'observations à l'HPM	Nombre d'observations à l'HPS	Nombre d'observations totales
6	7	6	13
7	4	5	9
8	4	3	7
9	4	3	7

On fixe la longueur minimale de la file d'attente à 6 véhicules, pour garantir la présence continue d'une file d'attente chaque minute d'observation tout en conservant un nombre suffisant d'observations sur la semaine de recueil.

On exclut donc les mesures ayant une **file d'attente inférieure à 6 véhicules**.

La figure suivante illustre le résultat final du filtre.



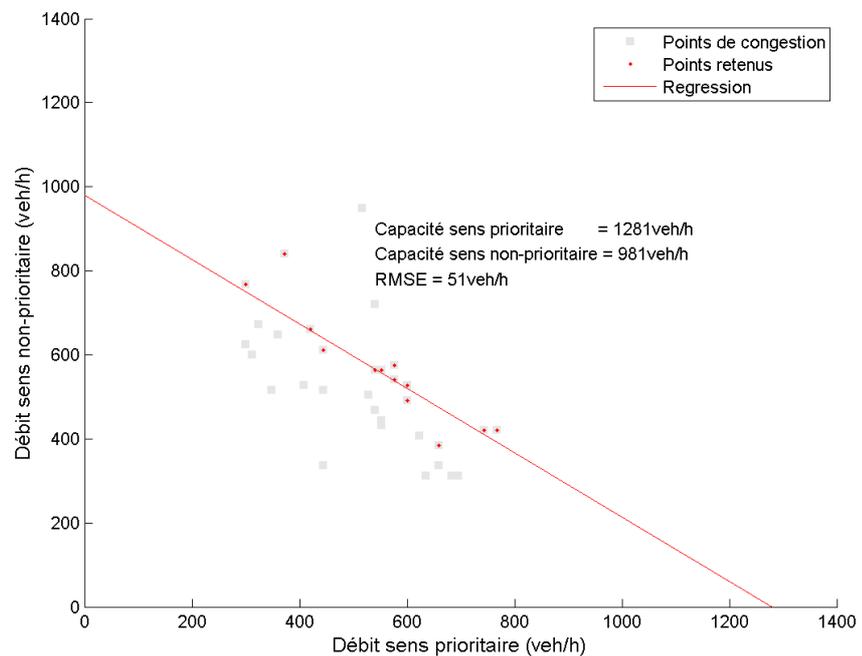
Résultat du filtre des points de mesure congestionnés de l'écluse

Estimation de la courbe de capacité (suite)

Calage

Le paragraphe suivant présente le **calage de la forme linéaire de la courbe de capacité**.

Journée L'estimation de la courbe de capacité est menée par une **régression linéaire robuste sur l'ensemble des données filtrées** (5 jours d'observations). On choisit une régression dite « robuste » pour que des pondérations soient attribuées à chacun des points de mesure (une pondération plus faible pour les points singuliers du nuage). La figure suivante illustre les résultats obtenus pour l'ensemble des journées de mesure.



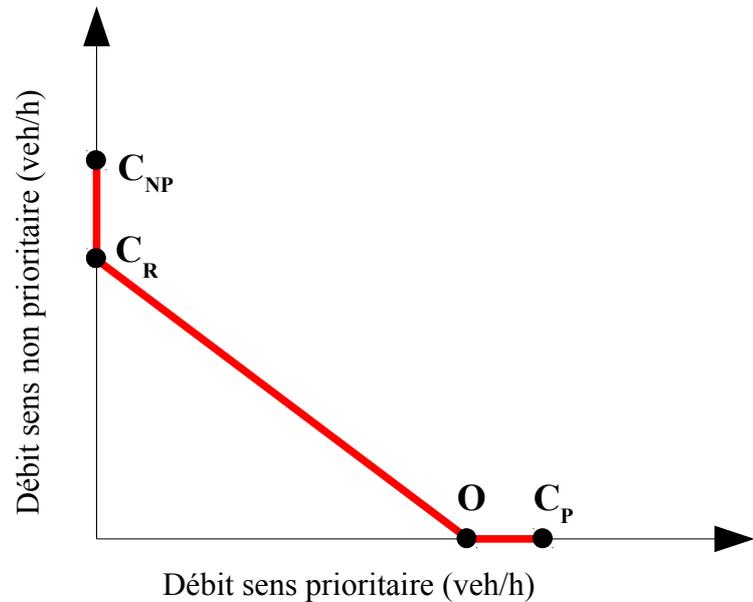
Résultats calage sur l'ensemble des journées de mesure

On obtient ainsi les capacités suivantes :

- capacité du sens prioritaire 1281 véhicules/h,
- capacité du sens non prioritaire 981 véhicules/h.

Ces ordres de grandeur de capacité du sens prioritaire correspondent à ceux attendus pour des voies de circulation en milieu urbain mais elles peuvent surprendre.

Le schéma ci-dessous apporte une explication à ce sujet :



Légende de l'image du dessus

- le **point C_{NP}** (capacité du sens non prioritaire) correspond à la capacité de la voie non-prioritaire. Cette valeur de capacité correspond aux valeurs classiquement rencontrées, entre 1500 et 1800veh/h en milieu urbain,
- le **point C_R** (capacité de redémarrage) correspond à la **capacité de redémarrage des véhicules stoppés en amont de l'écluse dans le sens non-prioritaire**. Le temps de réaction de ces véhicules, compris entre 3 et 4 secondes d'après nos observations de terrain, inclut notamment le temps de vérification nécessaire au conducteur pour s'assurer qu'aucun véhicule n'arrive dans le sens prioritaire,
- le **point O** est la capacité « limite » du sens prioritaire, il correspond au débit prioritaire au-delà duquel **plus aucun des véhicules non-prioritaires traversent l'écluse**,
- Le **point C_P** (capacité du sens prioritaire) correspond à la capacité de la voie prioritaire. Cette valeur de capacité correspond aux valeurs classiquement rencontrées, entre 1500 et 1800veh/h en milieu urbain.

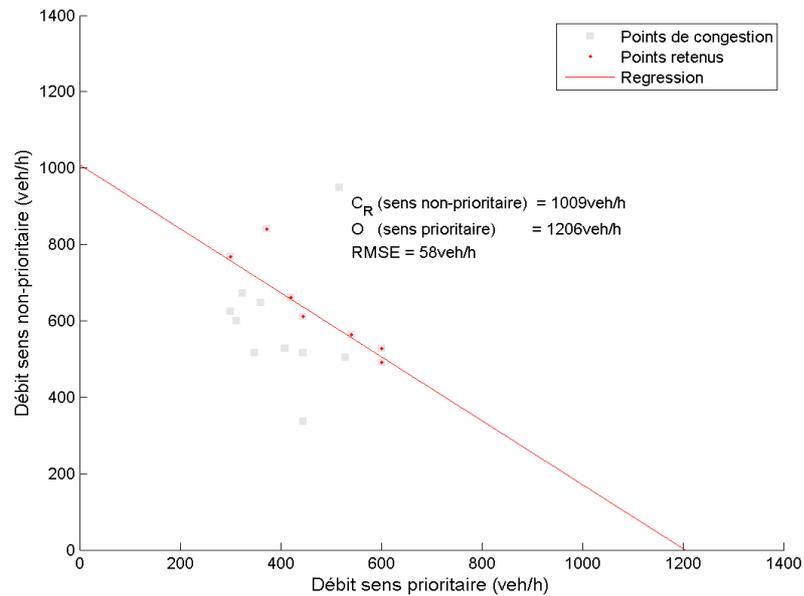
Afin de s'assurer définitivement de la forme linéaire de la courbe de capacité entre les points C_R et O , on scinde les données filtrées en deux échantillons :

- l'échantillon de calage sera l'ensemble des mesures du matin (7h → 9h),
- l'échantillon de validation est l'ensemble des mesures du soir (16h → 19h).

Estimation de la courbe de capacité (suite)

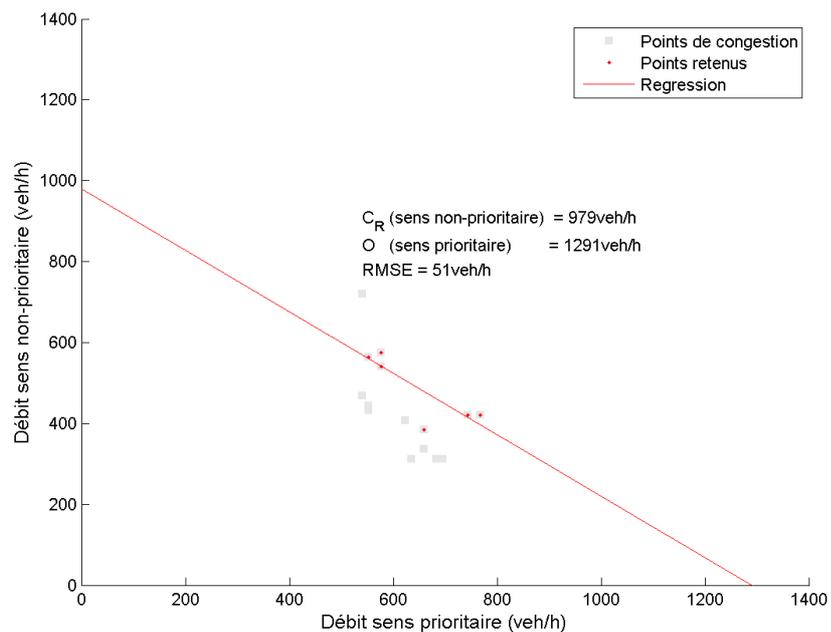
Calage (suite)

Matin On effectue une régression linéaire robuste sur les mesures filtrées des matins. Les résultats sont présentés dans la figure suivante.



Résultats calage sur l'ensemble des matinées de mesure

Après-midi On procède de même avec les données filtrées des après-midis. Les résultats sont les suivants :



Résultats calage sur l'ensemble des après-midis de mesure

Estimation de la courbe de capacité (suite)

Calage (suite)

Conclusion Le tableau suivant récapitule les résultats obtenus pour l'ensemble des journées, des matins et des après-midis.

	Journées	Matins	Après-midis
<i>Capacité sens prioritaire</i>	1281 veh/h	1206 veh/h	1291 veh/h
<i>Capacité sens non-prioritaire</i>	981 veh/h	1009 veh/h	979 veh/h
<i>RMSE*</i>	51 veh/h	58 veh/h	51 veh/h

*Root Mean Square Error, signifiant racine carré de l'erreur moyen moyenne au carré. C'est un indicateur statistique représentant écart moyen entre le modèle (ici le modèle linéaire) et les données mesurées.

On observe des valeurs de **capacité très proches** selon l'échantillon choisi. Cela nous conforte sur la pertinence du filtre mis en place pour sélectionner les données congestionnées.

Le RMSE représente l'erreur moyenne. Les RMSE sont également très proches pour les trois échantillons (~55 veh/h). Cela signifie que la **régression linéaire permet d'estimer le régime de capacité de l'écluse avec une erreur moyenne de 55 veh/h**, soit une erreur de 4,6%. C'est un ordre de grandeur raisonnable au regard de la précision des estimations de trafic, généralement de l'ordre de la centaine de véhicules par heure (8%).

Modèle de capacité d'une écluse routière

Au vu des observations terrain, on fait l'hypothèse que la demande du sens prioritaire est toujours satisfaite (100 % du respect de la priorité).

L'objectif est de proposer un modèle de capacité d'écluse, permettant d'estimer la capacité du sens non-prioritaire en fonction de la demande dans le sens prioritaire.

Entrées du modèle

Réseau

Le réseau est composé de l'écluse et des tronçons situés en amont et en aval de l'aménagement.

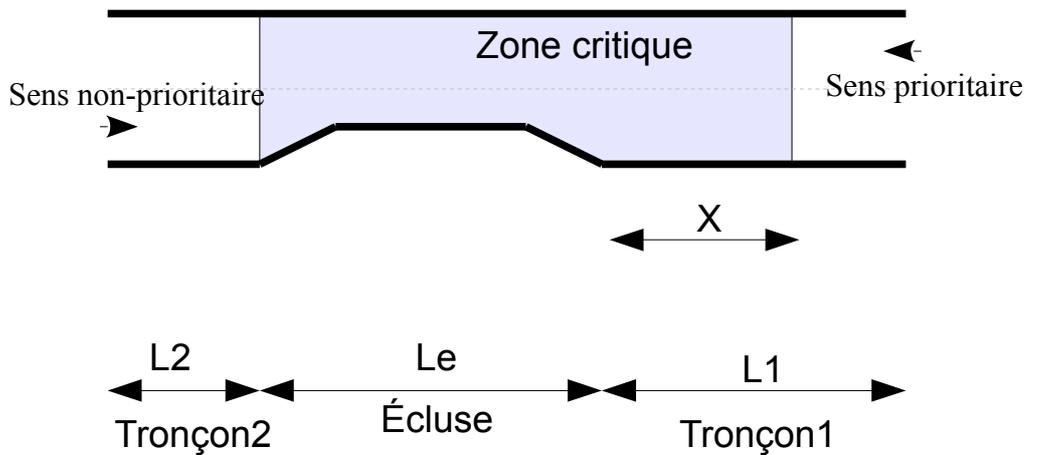


Schéma de l'écluse

Tronçons Les deux tronçons jouxtant l'écluse sont définis par les paramètres suivants :

	Tronçon 1	Tronçon 2	Unité
<i>Sens</i>	prioritaire	non prioritaire	
<i>Longueur de tronçon</i>	L1	L2	mètre
<i>Vitesse à vide</i>	V1	V2	km/h
<i>Capacité</i>	C1	C2	veh/h
<i>Concentration max</i>	K1	K2	veh/km

Écluse L'écluse est définie par les paramètres suivants :

	Écluse	Unité
<i>Longueur de tronçon</i>	Le	mètre
<i>Vitesse à vide</i>	Ve	km/h

Entrées du modèle (suite)

Réseau (suite)

Demande

La demande est définie dans le sens prioritaire. En effet, c'est la demande dans le sens prioritaire qui va déterminer les possibilités de traversée de l'écluse pour les véhicules du sens non-prioritaire.

Le profil de la demande prioritaire détermine les créneaux de traversée de l'écluse pour les véhicules du sens non-prioritaire. Pour tenir compte fidèlement du profil de demande prioritaire, on propose trois profils possibles.

- Profil A : les temps inter-véhiculaires sont fixes (et égaux à l'inverse de la demande).
- Profil B : les temps inter-véhiculaires sont tels que l'on a la présence de grappes de véhicules, dits pelotons.
- Profil C : les temps inter-véhiculaires sont générés aléatoirement parmi une distribution de Poisson.

Les paragraphes qui suivent décrivent ces trois profils de demande et leurs caractéristiques.

Profil A : demande régulière

Pour ce profil, les temps inter-véhiculaires (TIV) sont constants et se calculent en fonction de la demande $D1$ par :

- $TIV1 = 1/D1$

Par exemple, si la demande $D1$ est de 900 veh/h, alors les TIV seront tous de 4 secondes.

Profil B : demande par peloton

Pour ce profil, les véhicules sont regroupés par pelotons. Ce profil de demande correspond au cas (fréquent en milieu urbain) où un carrefour à feu est situé en amont du tronçon 1.

Dans ce cas, les pelotons de véhicules et les périodes d'absence de véhicules se succèdent. La récurrence des cycles de feu génère classiquement des pelotons dont le nombre de véhicules peut être considéré comme constant d'un peloton à l'autre. Pour ce profil de demande, N représente le nombre de véhicules par peloton.

Au sein d'un peloton, les TIV se calculent comme étant l'inverse de la capacité de la section (par exemple, pour une capacité de 1800 veh/h, le TIV est de 2s).

Le temps inter-peloton (TIP) qui représente la durée entre le passage de deux têtes de peloton successives se calcule en fonction de la demande $D1$ par :

- $TIP1 = N/D1$.

Par exemple, si la demande $D1$ est de 900 veh/h et que les pelotons sont composés de 3 véhicules, alors les pelotons seront tous séparés de 12 secondes.

A noter que pour $N=1$, on retombe exactement sur le profil A (peloton de 1 véhicule).

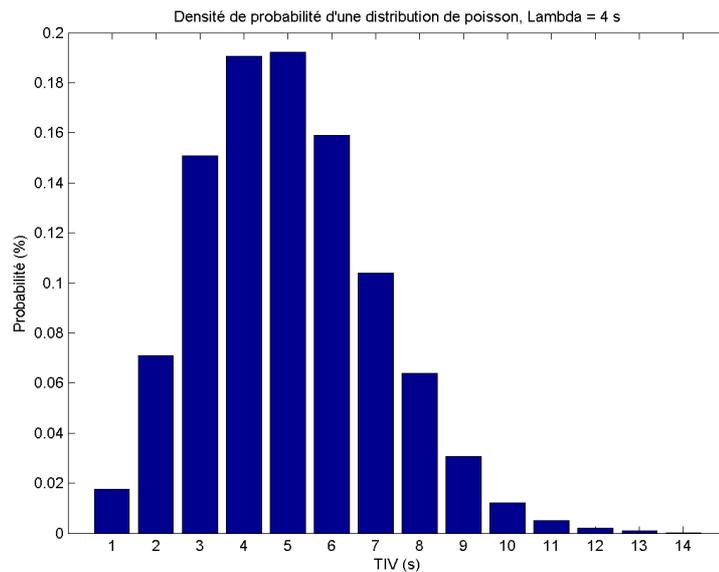
Entrées du modèle (suite)

Demande (suite)

Profil C : demande aléatoire

Pour ce profil, les TIV sont tirés parmi une distribution de Poisson (distribution utilisée classiquement pour tirer aléatoirement des TIV). De plus, cette distribution présente un unique paramètre qui représente l'espérance des TIV. Ici, le calage de la distribution est très aisé puisque l'espérance doit correspondre à l'inverse de la demande.

A titre d'exemple, la figure suivante représente la densité de probabilité d'une loi de Poisson dont l'espérance est de 4 s (ce qui correspond à une demande de 900 veh/h).



Régime de priorité

L'observation de terrain nous révèle que lorsqu'un véhicule non-prioritaire arrive à l'entrée d'une écluse, il cède le passage aux véhicules prioritaires situés dans une zone critique. Cette zone regroupe :

- une zone d'approche de longueur X en amont de l'écluse sur le tronçon 1;
- la zone d'écluse.

La zone critique de l'écluse est schématisée sur la figure suivante.

Calcul de la distance d'approche

Il est possible de calculer la longueur de la zone d'approche à partir de la longueur de l'écluse et des vitesses de traversée de l'écluse.

On suppose que l'automobiliste circulant dans le sens non prioritaire s'engage dans l'écluse si il peut traverser l'écluse à la vitesse V_E (en un temps T_T) et en sortir avant qu'un véhicule prioritaire s'y engage. On considère également que l'automobiliste ajoute une seconde de sécurité à ce temps. Ainsi, le temps de traversée T_P de l'écluse pour un véhicule non prioritaire s'écrit :

$$T_P = T_T + T_S = \frac{L_E}{V_E} + 1$$

La longueur de la zone d'approche est alors la distance parcourue par le véhicule prioritaire à la vitesse V_P durant le temps de passage T_P :

$$X = V_P * T_P = V_P * \left(\frac{L_E}{V_E} + 1 \right)$$

Par la suite, et pour simplifier les formules, on conserve la notation X. Notez également que cette distance X correspond à la distance de cédez-le-passage évoqué en page 7 du rapport.

Entrées du modèle (suite)

Régime de priorité (suite)

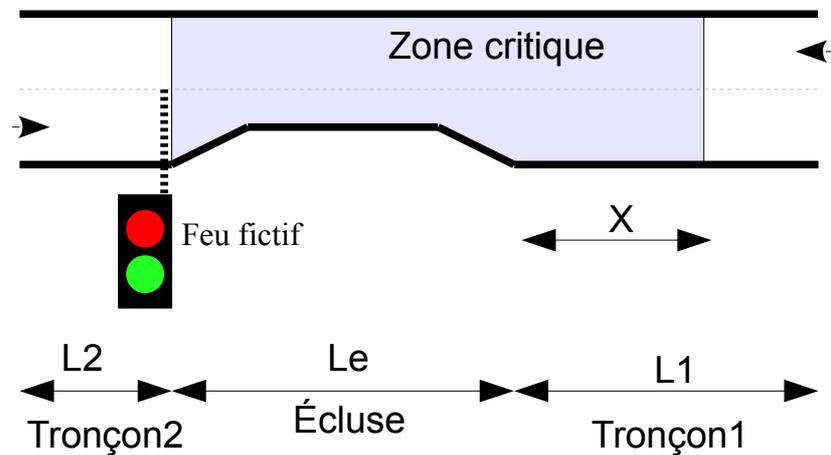
Introduction d'un feu fictif On peut modéliser le régime de priorité par un feu fictif sur le tronçon 2 à l'entrée de l'écluse. Ce feu fictif représente les phases de cédez-le passage (feu rouge) et les phases de passage libre (feu vert).

Plus concrètement, le feu fictif est rouge dès lors qu'un véhicule du sens prioritaire est présent dans la zone critique. Le feu fictif est vert si aucun véhicule du sens prioritaire n'est présent dans la zone critique.

L'introduction de la notion de feu fictif est aisée dans la mesure où la capacité de l'écluse revient à un simple calcul de capacité de feu. La particularité du feu fictif est que les phases de rouge et de vert varient avec :

- le niveau de la demande prioritaire ;
- le profil de la demande prioritaire.

Les calculs de capacité de l'écluse sont proposés dans la section qui suit.



Positionnement d'un feu fictif

Calcul de la capacité

Pour le calcul de la capacité d'une écluse, on estime successivement :

- la durée de cycle du feu fictif ;
- la durée de rouge ;
- la durée de vert.

On en déduit alors la capacité de l'écluse. Ces calculs sont menés pour les profils de demande prioritaire A (TIV constant) et B (arrivées par peloton). Le profil n'a pas été abordé ici.

Pour une demande de profil A

Durée du cycle Le feu fictif passe au rouge à chaque arrivée d'un véhicule dans la zone critique. Ainsi, la durée séparant deux phases de rouge successives correspond aux TIV des véhicules du sens prioritaire. Pour le profil de demande A, les véhicules du sens prioritaire sont tous séparés du même TIV. On en déduit la durée de cycle T_c du feu fictif :

$$T_c = \frac{1}{DI}$$

Durée de la phase de rouge Le feu fictif passe au rouge au moment d'entrée d'un véhicule dans la zone critique, et reste rouge tant que ce véhicule est présent dans la zone critique. Le temps de traversée de la zone critique pour les véhicules du sens prioritaire peut se calculer en fonction des caractéristiques de la zone critique (vitesses à vide, longueurs). On en déduit alors la durée de la phase de rouge T_r par :

$$T_r = \frac{L_E}{V_E} + \frac{X}{VI}$$

Durée de la phase de vert Connaissant la durée du cycle et la durée de la phase de rouge, il est facile de retrouver la durée de la phase de vert par : $T_v = T_c - T_r$.

Attention, cette formule n'est valable que si le temps de traversée du véhicule est inférieur au TIV. En d'autres termes, cette formule est valable tant que l'on a pas simultanément 2 véhicules du sens prioritaire dans la zone critique. On corrige donc l'expression de la durée de vert par :

$$T_v = \max\left(\frac{1}{DI} - \left(\frac{L_E}{V_E} + \frac{X}{VI}\right), 0\right)$$

Formule de la capacité Ayant la description complète du cycle de feu fictif, on peut facilement en déduire la capacité de l'écluse dans le sens non prioritaire par :

$$C = C2 \cdot \frac{T_v}{T_v + T_r}$$

Après simplification, on trouve que :

$$C = C2 \cdot \max\left(1 - DI \cdot \left(\frac{L_E}{V_E} + \frac{X}{VI}\right), 0\right)$$

C'est l'expression de la capacité résultante dans le sens non-prioritaire, exprimée en fonction de la demande $D1$ du sens prioritaire. On observe que cette capacité dépend également des caractéristiques géométriques du site (longueur de l'écluse, longueur de la zone critique) et des caractéristiques de vitesses (vitesse de l'écluse et vitesse dans le sens prioritaire).

En théorie, la capacité est nulle si le temps inter véhiculaire est inférieur à la durée de traversée de la zone critique.

Calcul de la capacité (suite)

Pour une demande de profil B

Durée du cycle Le feu fictif passe au rouge à chaque arrivée d'un peloton dans la zone critique. Ainsi, la durée séparant deux phases de rouge successives correspond au temps inter-peloton (TIP). Pour le profil de demande B, les pelotons du sens prioritaire sont tous séparés du même TIP. On en déduit la durée de cycle T_c du feu fictif :

$$T_c = \frac{N}{DI}$$

Durée de la phase de rouge Lorsque le premier véhicule d'un peloton du sens prioritaire entre dans la zone critique, alors le feu fictif passe au rouge. La durée du rouge T_r correspond à la durée de traversée de la zone critique par le peloton de N véhicules. On peut montrer que l'expression de cette durée de traversée est :

$$T_r = \frac{N-1}{CI} + \frac{L_E}{V_E} + \frac{X}{VI}$$

où $C1$ correspond à la capacité dans le sens prioritaire.

Durée de la phase de vert On peut alors facilement en déduire la durée de vert par : $T_v = T_c - T_r$. Pour des raisons identiques à celles évoquées plus haut, cette formule est valable tant que la durée de traversée est inférieure au TIP. On en déduit que l'expression de la durée de vert T_v du feu fictif est :

$$T_v = \max\left(\frac{N}{DI} - \left(\frac{N-1}{CI} + \frac{L_E}{V_E} + \frac{X}{VI}\right), 0\right)$$

En théorie, la capacité est nulle si le temps inter peloton est inférieur à la durée de traversée de la zone critique par un peloton.

Formule de la capacité Ayant la description complète du cycle de feu fictif, on peut alors en déduire la capacité de l'écluse dans le sens non-prioritaire grâce à la capacité du sens non-prioritaire $C2$:

$$C = C2 \cdot \frac{T_v}{T_v + T_r}$$

Après simplification, on montre que la formule de capacité est :

$$C = C2 \cdot \max\left(\left(\frac{N-1}{N} \cdot \left(1 - \frac{DI}{CI}\right) + (1 - DI) \cdot \left(\frac{L_E}{V_E} + \frac{X}{VI}\right)\right), 0\right)$$

Cette formule donne la capacité résultante du trafic non-prioritaire en fonction de la demande de trafic prioritaire $D1$, des caractéristiques du site de l'écluse et des vitesses.

On note ici que pour $N=1$ (peloton de 1 véhicule), on retrouve exactement les formules proposées pour le profil A de demande.

On note également que pour $N>1$, la capacité de l'écluse est supérieure au cas où $N=1$. Ce résultat est attendu :

- lorsque plusieurs véhicules du sens prioritaire se suivent,
- le temps de rouge fictif qu'ils engendrent est inférieur à la somme des durées de rouge qu'ils auraient engendrés individuellement.

Outil d'estimation de courbe de capacité

La partie précédente a proposé un modèle de capacité pour une écluse. Ce modèle repose sur plusieurs paramètres tels que la longueur de l'écluse ou encore la vitesse de traversée de l'écluse. On propose ici un outil permettant de renseigner ces paramètres afin d'estimer la courbe de capacité d'une écluse.

Présentation de l'outil

Une feuille de calcul a été développée afin d'estimer l'allure de la courbe de capacité en renseignant simplement les paramètres du modèle de capacité. Ces paramètres sont à renseigner dans un tableur présentant la forme suivante.

Calcul de capacité d'écluse	
RESEAU	
Site	
Site d'implantation de l'écluse	au cœur de l'agglomération
Limitation de vitesse	50 km/h
Voie prioritaire	
Vitesse réelle	40 km/h
Capacité "limite"	1500 veh/h
Voie non prioritaire	
Capacité de redémarrage	1000 veh/h
Ecluse	
Longueur de l'écluse	35 m
Vitesse de traversée de l'écluse	30 km/h
Longueur de la zone d'approche	46 m
VEHICULES	
Arrivée des véhicules du sens prioritaire	
Temps de vert	35 s
Les véhicules arrivent regroupés par	15 véhicule(s)

Extrait de l'outil « Abaque de capacité »

La section qui suit décrit précisément les paramètres à renseigner dans ce tableau, à savoir les paramètres :

- de réseau, qui décrivent les caractéristiques physiques de l'écluse,
- de demande, qui décrivent les principales caractéristiques des demandes prioritaires et non-prioritaires se présentant sur l'écluse.

Réseau

Le réseau décrit les caractéristiques physiques (longueur, capacité...) du site d'implantation, des voies d'accès et de l'écluse.

Site L'utilisateur doit renseigner deux paramètres :

- le **site d'implantation** de l'écluse. L'utilisateur choisira, dans un menu déroulant, le futur site d'implantation (en entrée d'agglomération ou au cœur de l'agglomération ou dans une zone 30).
- la **limitation de vitesse** des voies d'accès à l'écluse. L'utilisateur choisira parmi quatre possibilités dans un menu déroulant (90, 70, 50 ou 30 km/h).

Présentation de l'outil (suite)

Réseau (suite)

Voie prioritaire L'outil estime automatiquement la **vitesse réelle** des usagers sur la voie prioritaire à l'approche de l'écluse. L'utilisateur peut modifier ce paramètre s'il en possède une mesure (informations plus précises que les estimations de l'outil).

On choisit de fixer la vitesse réelle à 10 % de la limitation de vitesse (erreur des compteurs de vitesse habituellement utilisé. Cette valeur est ensuite arrondi à la dizaine inférieure. Ainsi 10 % de baisse sur une vitesse réglementaire égale à 90 km/h est égale à 81 km/h, arrondi à 80 km/h.

Le tableau suivant explicite les estimations de la vitesse faite à partir de la limitation de vitesse.

Si la limitation est égale à	Alors la vitesse réelle est estimée à
90 km/h	81 km/h
70 km/h	60 km/h
50 km/h	40 km/h
30 km/h	30 km/h

La **capacité** « limite » de cette voie en véhicules/heure (nombre maximum de véhicules qui passent pendant une heure) est un paramètre important.

L'utilisateur doit la saisir.

Dans le cas où l'utilisateur ne dispose pas de cette information, l'outil indique une valeur par défaut en fonction du site d'implantation de l'écluse :

Si l'écluse se situe	Alors la capacité est égale à
en entrée d'agglomération	1800 véhicules/heure
au cœur de l'agglomération	1500 véhicules/heure
dans une zone 30	1200 véhicules/heure

Pour l'écluse « au cœur d'agglomération », cette valeur de capacité a été **calée sur l'écluse de Tassin la Demi-Lune**. Elle est donc à affiner en confrontant le modèle à d'autres données terrain.

Les valeurs de capacité pour les écluses « en agglomération » et celles « dans une zone 30 » sont des capacités courantes et restent à valider.

Voie non prioritaire L'utilisateur doit la saisir la **capacité de redémarrage de l'écluse**.

L'outil fixe une valeur par défaut. Cette capacité dépend directement des temps inter véhiculaires au redémarrage des véhicules non-prioritaires avant leur entrée dans l'écluse. Au droit d'un feu tricolore, cette capacité est comprise entre 1500 veh/h et 1800 veh/h selon la configuration du site (soit des temps inter véhiculaires au démarrage compris de l'ordre de 2 secondes). Dans le cas d'une écluse, on constate que les temps inter véhiculaires au redémarrage sont légèrement plus importants, car le temps de redémarrage comprends un temps de vérification que l'écluse est libre et qu'aucun véhicule prioritaire ne se présente : la capacité par défaut est donc plus faible, de l'ordre de **1000 veh/h**.

Présentation de l'outil (suite)

Réseau (suite)

Écluse L'écluse correspond à la section limitée à une voie pour les deux sens de circulation. L'utilisateur doit saisir la **longueur** de l'écluse en mètre, c'est-à-dire la distance entre les points d'extrémités extérieurs des îlots.

L'outil d'abaque calcule alors la longueur de la zone d'approche X selon la formule proposée page 20. En appliquant cette formule à deux écluses observées, on obtient :

- Saint-Priest : $V_p = 40$ km/h , $L_E = 15$ m et $V_E = 15$ km/h car les véhicules ralentissent pour franchir le coussin

$$X = \frac{40}{3,6} * \left(\frac{15}{15} * 3,6 + 1 \right) = 51 \text{ m}$$

- Tassin la Demi-Lune : on utilise les données mesurées lors de la campagne de recueil de données $V_p = 40$ km/h , $L_E = 35$ m et $V_E = 40$ km/h

$$X = \frac{40}{3,6} * \left(\frac{35}{40} * 3,6 + 1 \right) = 46 \text{ m}$$

Ces calculs correspondent aux ordres de grandeur observés sur le terrain.

L'utilisateur doit également renseigner la **vitesse de traversée** de l'écluse. La valeur par défaut est fixée à 30 km/h.

La **longueur de zone d'approche** est calculée automatiquement selon la formule explicitée page 20. Elle n'est pas modifiable par l'utilisateur.

Demande

Lors de la présentation du modèle de capacité, nous avons vu que le profil de la demande du sens prioritaire est un paramètre, car la capacité d'une écluse est très impactée par la présence de peloton de véhicules ou non.

Pour tenir compte de cet élément, il faut renseigner le **nombre de véhicules par peloton**, dénoté N ci-dessous (indiqué « les véhicules arrivent regroupés par » dans l'outil).

Si $N=1$, cela signifie que chaque peloton est composé de 1 véhicule. Les TIV sont alors constants et égaux à l'inverse de la demande.

Si $N>1$, cela signifie que la demande prioritaire arrive par peloton. Le nombre de véhicules est identique d'un peloton à l'autre.

Ce paramètre est difficilement mesurable sur le terrain par conséquent, il n'est **pas modifiable** par l'utilisateur.

Le calcul montre que l'on peut estimer l'ordre de grandeur de la taille des pelotons en fonction des **durées de feu vert** T_v en amont de l'écluse. Partant de l'hypothèse d'une capacité C1 pour ce feu, on retrouve le nombre de moyen de véhicules par peloton par :

$$N = \frac{C_1 * T_v}{3600}$$

Exemple d'application sur l'écluse de Tassin la Demi-Lune

On se met ici à la place d'un utilisateur lambda devant estimer la courbe de capacité de l'écluse de Tassin la Demi-Lune à partir de l'outil décrit ci-dessus et des données qu'il pourra observer sur le terrain.

Paramètres

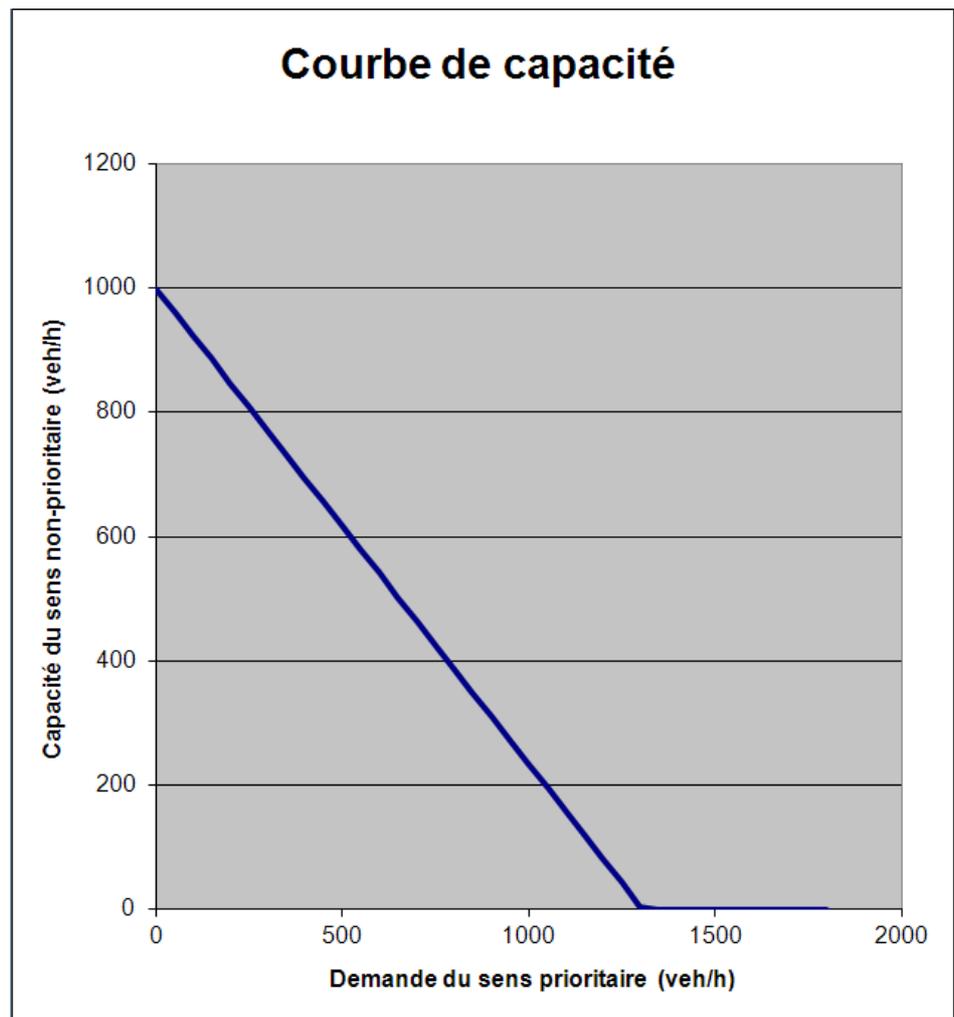
On saisit dans l'outil les informations sur le site de Tassin la Demi-Lune :

- site d'implantation = au cœur de l'agglomération
- limitation de vitesse = 50 km/h
- longueur de l'écluse = 35 m
- vitesse de traversée de l'écluse = 30 km/h
- temps de vert : l'observation terrain nous a montré un temps de vert moyen en amont de l'écluse d'environ 35 secondes

Pour les capacités et la vitesse réelle du sens prioritaire, on conserve celles données par défaut par l'outil.

Résultats

La courbe de capacité obtenue est illustrée par la figure suivante.



Courbe de capacité calée pour Tassin la Demi-Lune, temps de vert = 35 s

On retrouve une courbe de capacité très proche de celle estimée à partir des données recueillies sur le terrain.

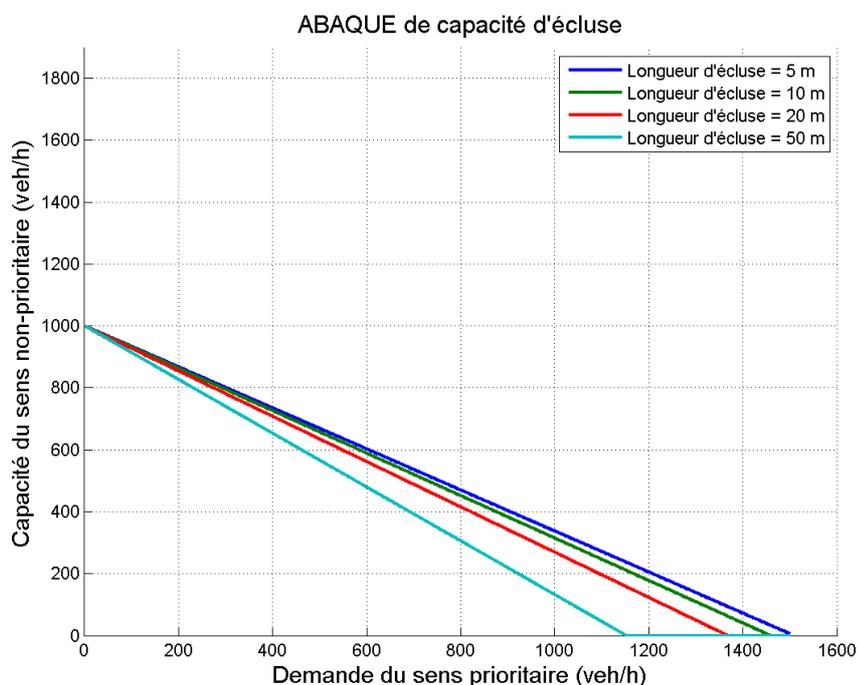
Exemple d'abaques de capacité – Tests de sensibilité

Nous disposons donc d'un modèle capable d'estimer la capacité d'une écluse. Les paragraphes suivant illustrent des exemples d'abaques de capacité. Pour l'élaboration de ces abaques, nous sommes partis des paramètres de l'écluse de Tassin la Demi-Lune. Ensuite, nous avons fait varier les paramètres du modèle un à un afin d'évaluer la sensibilité du modèle à ces paramètres. Les résultats sont illustrés par les figures d'abaque de capacité qui suivent.

Sensibilité à la longueur de l'écluse

La capacité de l'écluse varie de 1100 à 1500 véhicules/heure lorsque la longueur varie de 50 à 5 mètres.

Cet abaque de capacité peut permettre à un aménageur de fixer la longueur de son écluse en fonction des contraintes du site (demande, place disponible...).



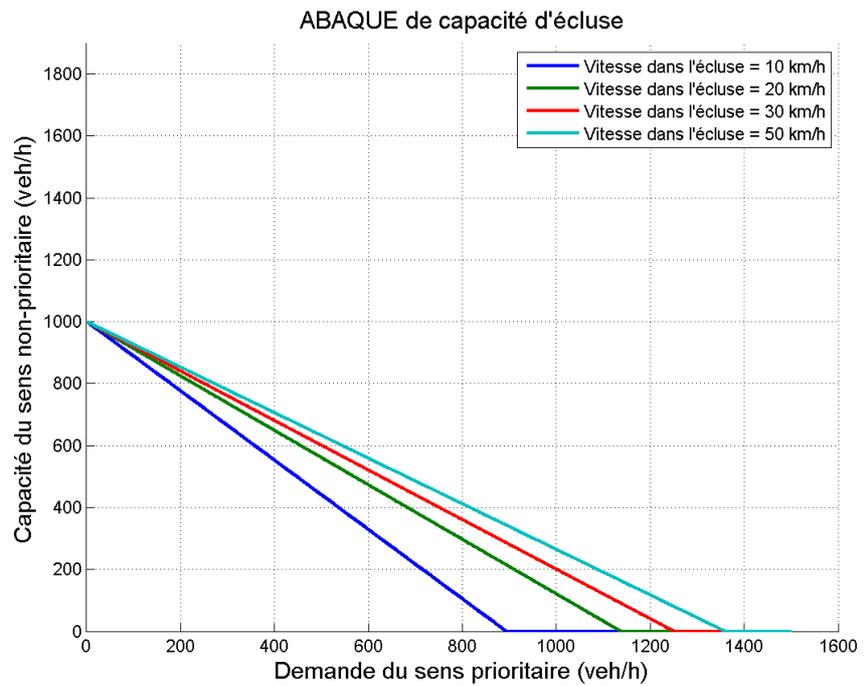
**Capacité d'une écluse en fonction de la longueur de l'écluse
(vitesse de 40 km/h et 15 véhicules par peloton)**

Exemple d'abaques de capacité – Tests de sensibilité (suite)

Sensibilité à la vitesse dans l'écluse

Une variation de la vitesse de traversée de l'écluse de 10 à 50 km/h augmente la capacité de l'écluse de 900 à 1300 véhicules/heure.

Cet abaque montre à l'aménageur l'impact que pourrait avoir un système de coussin associé à l'écluse pour limiter la vitesse de traversée.



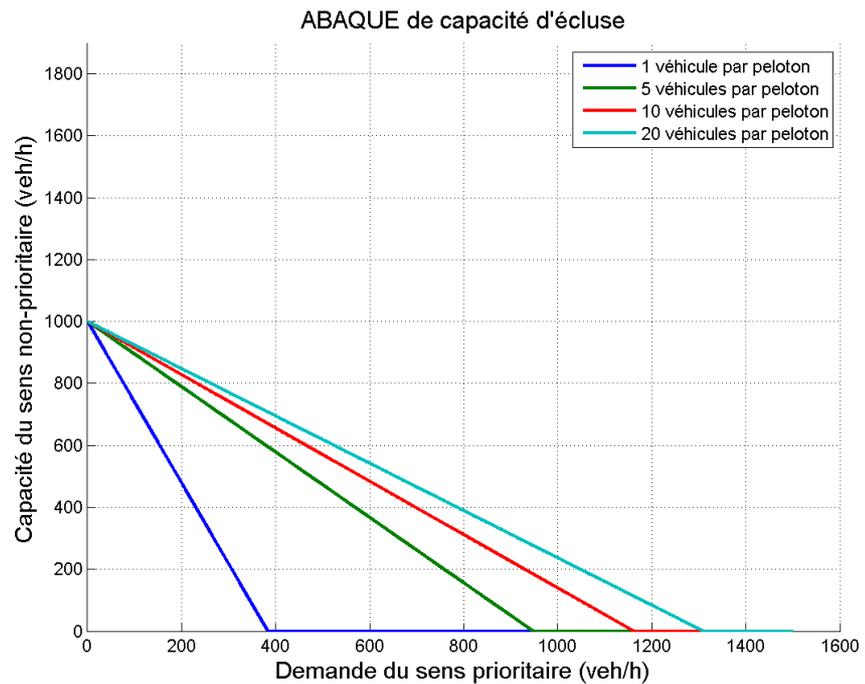
Capacité d'un écluse en fonction de la vitesse dans l'écluse
(longueur de l'écluse 35m et 15 véhicules par peloton)

Exemple d'abaques de capacité – Tests de sensibilité (suite)

Sensibilité à la taille des pelotons prioritaires

La courbe de capacité d'une écluse est très sensible à la taille des pelotons du sens prioritaire. En effet, lorsqu'on passe d'une situation avec 20 véhicules par peloton à une situation sans peloton (1 véhicule), la capacité chute de 1300 à 400 véhicules/heure.

Il est donc important pour un futur aménageur de bien estimer ce paramètre en fonction des longueurs de cycle de feu en amont des sens prioritaire et non-prioritaire.



Capacité d'un écluse en fonction de la taille du peloton prioritaire (vitesse de 40 km/h et longueur de l'écluse 35 m)

Outil de simulation dynamique de l'écoulement

L'outil de simulation dynamique permet d'estimer des conditions de trafic autour d'une écluse en fonction des volumes de demande prioritaire et non-prioritaire. Cet outil est développé sous Matlab (outil de programmation mathématique commercial). Pour cela, il faut renseigner à l'outil des informations sur :

- les caractéristiques du réseau,
- les caractéristiques de la demande.

Présentation de l'outil

Réseau

La saisie des caractéristiques du réseau se fait via un fichier Excel. Ces entrées sont identiques à celles qui sont à renseigner pour l'outil d'estimation de courbe de capacité (cf. P15 « Modèle de capacité d'une écluse/Entrées du modèle » pour plus d'informations).

Demande

L'utilisateur doit d'abord renseigner la période d'agrégation de la demande. Opérationnellement, cette période est généralement soit de 1 minute, 6 minutes ou 15 minutes. La durée de la période est libre, elle doit être renseignée par l'utilisateur (en secondes).

L'utilisateur doit ensuite renseigner les volumes de demande pour chacune des périodes de simulation. Ces volumes de demande sont renseignés pour le sens prioritaire et le sens non-prioritaire (en veh/h).

L'utilisateur doit enfin renseigner le profil de ces demandes, choisi parmi les profils A, B ou C.

Import des données d'entrée

Dans un premier temps, l'outil charge l'ensemble des données qui ont été renseignées dans le fichier excel. Ces données sont les données sur le réseau, le régime de priorité, les volumes et les profils des demandes.

Fonctionnement de l'outil

Création des véhicules aux entrées du réseau

A partir des volumes de demande et des profils aux entrées 1 (prioritaire) et 2 (non-prioritaire), l'outil génère des véhicules aux entrées du réseau. Pour chaque véhicule généré, on calcule son instant exact d'arrivée sur le réseau.

On construit ainsi deux courbes de véhicules cumulés (CVC) :

- la CVC1 : courbe de demande en entrée du tronçon 1,
- la CVC2 : courbe de demande en entrée du tronçon 2.

Détermination des cycles du feu fictif

Nous avons vu précédemment que le feu fictif de l'écluse est rouge dès lors qu'un véhicule prioritaire est présent dans la zone critique.

Ainsi, les instants d'arrivées des véhicules dans la zone critique déclenchent les phases de rouge et les instants de sortie déclenchent les phases de vert.

Il faut donc calculer les CVC du sens prioritaire en entrée et en sortie de la zone critique. A partir de ces deux CVC, on pourra calculer les cycles du feu fictif sur l'ensemble de la période de simulation.

Fonctionnement de l'outil (suite)

Calcul de l'écoulement

Pour le calcul de l'écoulement à l'entrée de l'écluse dans le sens non-prioritaire, nous appliquons le simple principe de conservation des véhicules. Ce principe conduit au résultat suivant : à tout instant, le trafic effectivement écoulé en un point du réseau est le minimum de l'offre et de la demande en ce point.

A tout instant, la demande en entrée de l'écluse dans le sens non-prioritaire est facilement calculée puisque c'est la CVC en entrée du tronçon 1 décalée du temps de parcours entre l'entrée du tronçon 1 et l'entrée de l'écluse.

A tout instant, l'offre en entrée de l'écluse dans le sens non-prioritaire est connue puisqu'elle est déterminée par le cycle de feu fictif. L'offre est nulle lorsque le feu fictif est rouge et l'offre est capacitaire lorsque le feu est vert.

On calcule ainsi facilement le trafic écoulé en entrée de l'écluse : c'est le minimum de la demande et de l'offre. On reconstruit ainsi la CVC écoulée en entrée de l'écluse.

Exemple d'application sur l'écluse de Tassin la Demi-Lune

Paramètres

Description de l'écluse et des tronçons

Les paramètres utilisés pour le calage du modèle dynamique sont issus du cas d'application de l'écluse de Tassin la Demi-Lune.

Il s'agit soit :

- des données de terrain mesurées in situ,
- des valeurs obtenues à partir de l'abaque de capacité.

Description des profils de demandes

Les profils de demandes utilisés sur chaque tronçon ont également été obtenus à partir de l'abaque de capacité.

Ces profils sont les suivants :

- tronçon prioritaire : pelotons de 15 véhicules,
- tronçon non-prioritaire : arrivée véhicule par véhicule (profil A).

Demande en entrée du tronçon non-prioritaire

Le modèle dynamique requiert parmi ses données d'entrée les **débits en amont** de chaque tronçon.

Sur le terrain, les débits ont été mesurés au droit de l'écluse.

Pour le sens prioritaire, on considère que les débits en entrée du tronçon sont identiques à ceux mesurés au droit de l'écluse .

En revanche, dans le cas du sens non-prioritaire, il a été nécessaire de reconstituer ces données car en présence de file d'attente, les débits mesurés dans l'écluse ne correspondent pas à la demande en entrée de l'écluse.

Formule de calcul

Les valeurs de débits en entrée du tronçon non-prioritaire sont obtenus à partir de la formule de calcul suivante :

$$Q_{\text{entrée}}(i) = Q_{\text{écluse}}(i) + N(i+1) - N(i)$$

avec :

- $Q_{\text{entrée}}(i)$: débit en entrée du tronçon sur l'intervalle de temps $[i, i+1]$
- $Q_{\text{écluse}}(i)$: débit mesuré au droit de l'écluse sur l'intervalle $[i, i+1]$
- $N(i)$: longueur de la file d'attente à l'instant i .

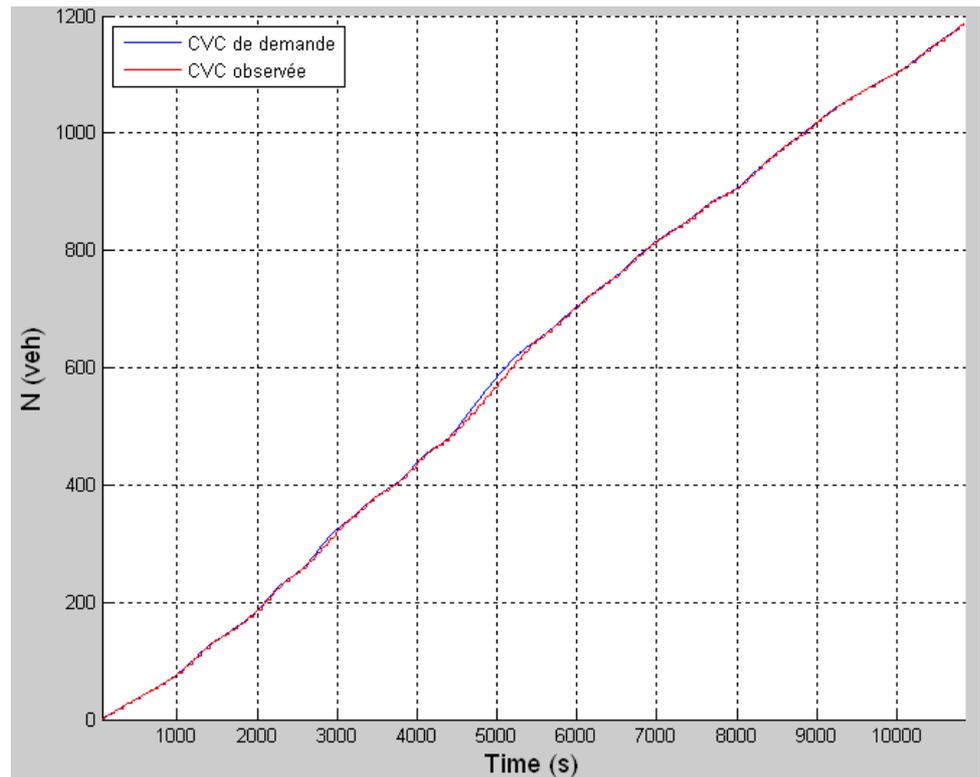
Exemple d'application sur l'écluse de Tassin la Demi-Lune (suite)

Résultats de la simulation

Courbes de véhicules cumulés

Cette courbe représente les instants de passage de chaque véhicule passé au point d'entrée de l'écluse dans le **sens non-prioritaire**.

Les véhicules sont indicés de 1 à N, N étant le nombre total de véhicules passés en ce point.



Nombres de véhicules cumulés en entrée (courbe bleue) et écoulés par l'écluse (courbe rouge)

Sur cette figure, la courbe bleue représente la CVC de demande et la courbe rouge représente la CVC effectivement écoulee.

Lorsque les deux courbes sont jointes, cela signifie que la demande a été parfaitement écoulee et qu'aucune file d'attente n'est présente en amont de l'écluse.

Lorsque les deux courbes sont disjointes, cela signifie que la demande n'a pas été satisfaite et qu'une file d'attente s'est formée en amont de l'écluse. La différence « horizontale » entre les deux courbes représente les retards individuels subis par les véhicules. La différence « verticale » entre les deux courbes représente le nombre de véhicules présents dans la file d'attente.

Ici, on constate qu'une congestion importante se forme à partir de $t=4500s$ et se résorbe à $t=5500s$.

Exemple d'application sur l'écluse de Tassin la Demi-Lune (suite)

Résultats de la simulation (suite)

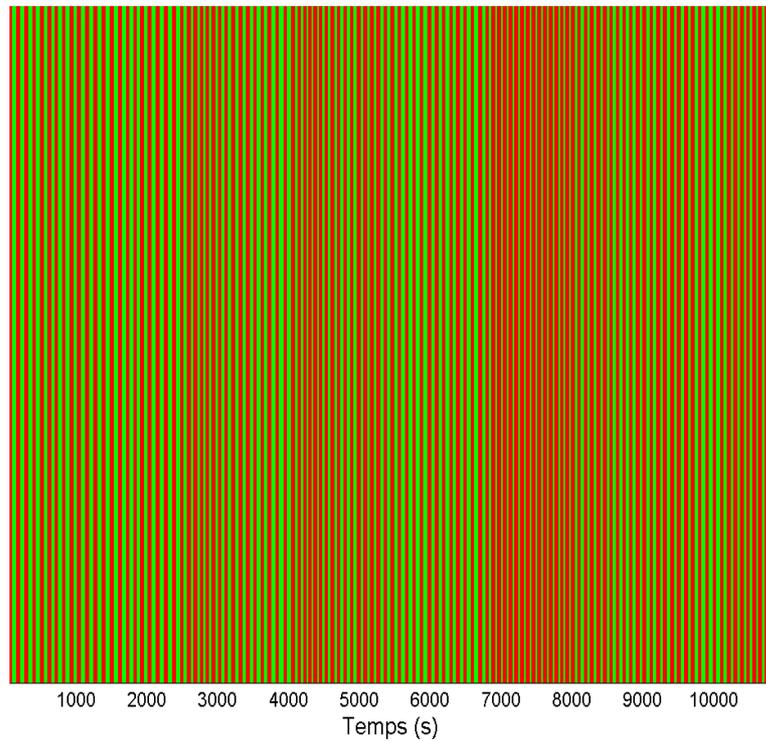
Courbe de capacité du sens non-prioritaire

C'est une courbe qui représente l'évolution de l'offre en fonction du temps.

L'offre peut prendre deux valeurs :

- nulle (pendant la phase de rouge),
- capacitaire (pendant la phase de vert).

Phases rouge/vert du feu fictif de l'écluse

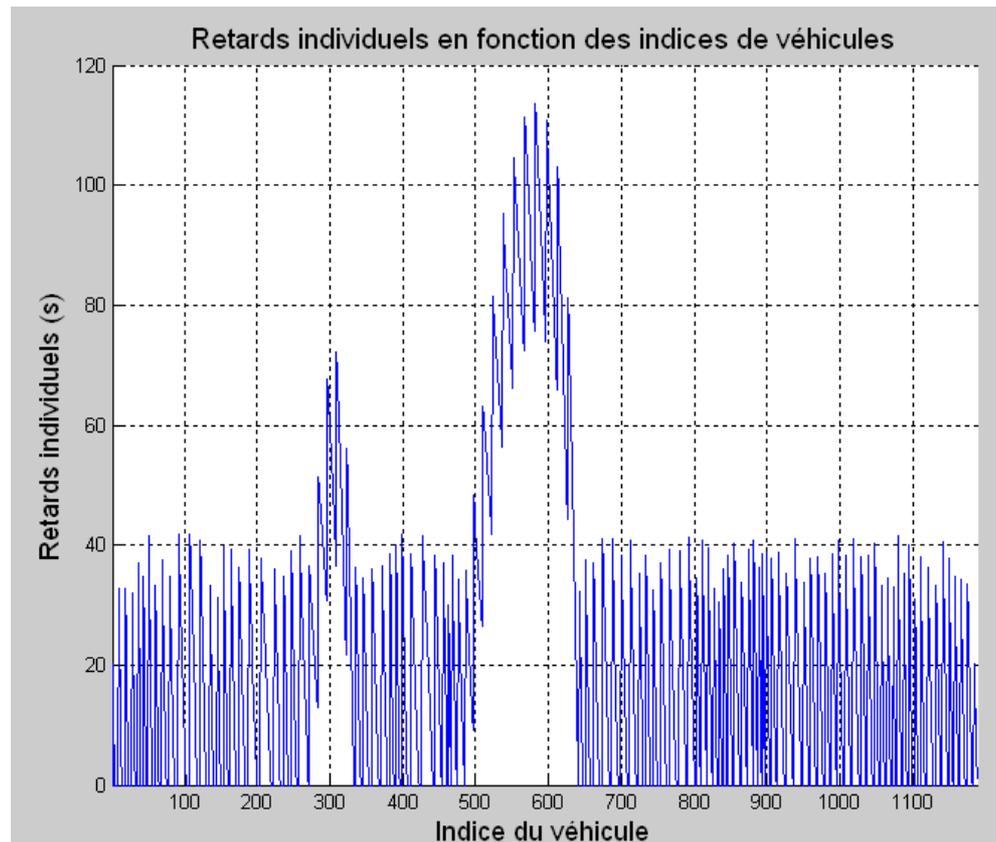


Courbe de capacité du sens non-prioritaire en fonction du temps

Exemple d'application sur l'écluse de Tassin la Demi-Lune (suite)

Résultats de la simulation (suite)

Retards individuels Cette courbe représente les retards subis pour chacun des véhicules au cours de la simulation.



Retards individuels subis par les véhicules

Au cours de la simulation, les véhicules du sens non-prioritaire sont numérotés dans l'ordre de leur création. Sur cette figure, on peut lire les retards subis par l'ensemble des véhicules générés dans le sens non-prioritaire au cours de la simulation.

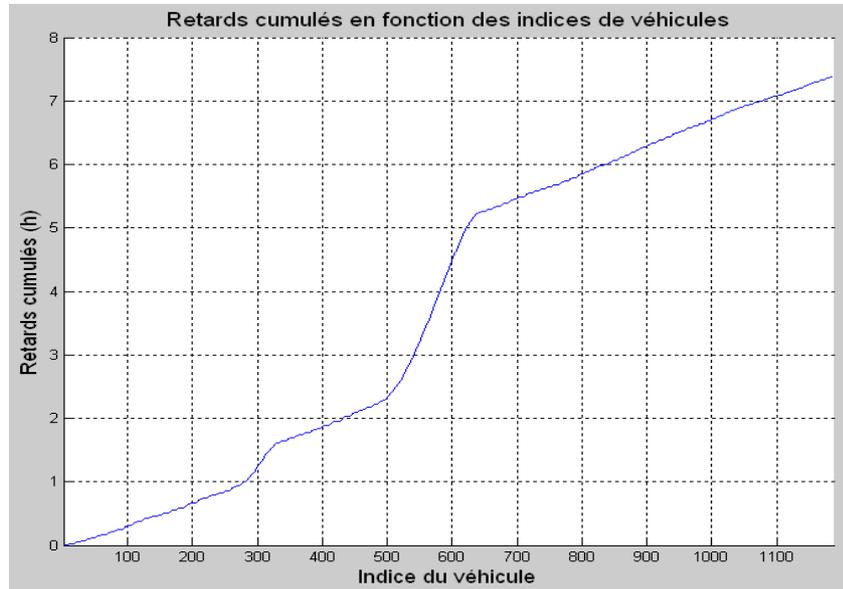
On constate que les 280 premiers véhicules ne subissent pas ou peu de retards (inférieur à un cycle de feu). Les véhicules 280 à 330 subissent des retards supérieurs à 40 secondes.

Les véhicules 500 à 640 subissent des retards importants, atteignant pour certains 110 secondes.

Exemple d'application sur l'écluse de Tassin la Demi-Lune (suite)

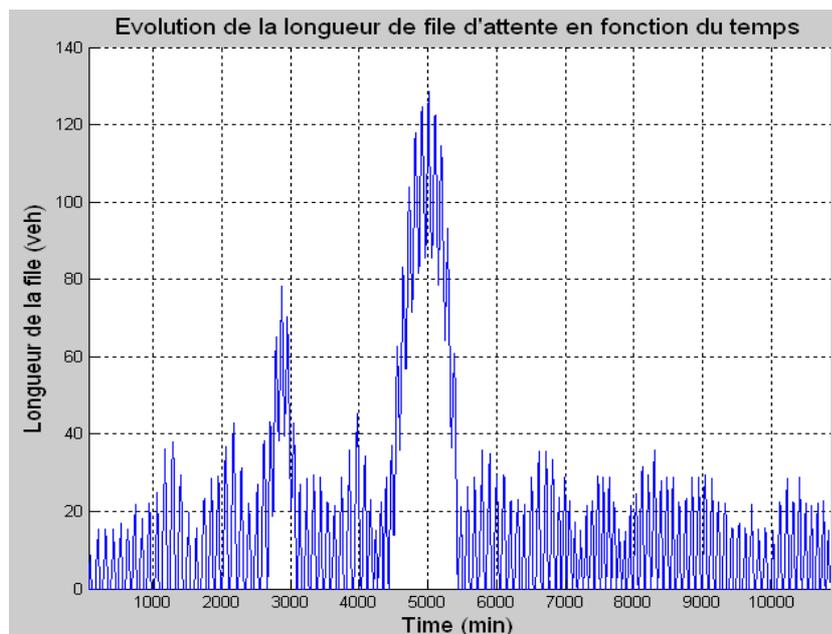
Résultats de la simulation (suite)

Retards cumulés Cette courbe représente les retards cumulés par les N véhicules.



Retards cumulés pour l'ensemble des véhicules

Longueur de file d'attente Cette courbe représente l'évolution de la longueur (m) de file d'attente en fonction du temps.



Longueur simulée de la file d'attente

La longueur de la file est basée sur la valeur de 6,66m par véhicule à l'arrêt.
 La **longueur maximale de file d'attente est de 130m.**

Validation du modèle dynamique

Indicateurs de validation

La validation du modèle dynamique s'effectue sur la base d'une comparaison entre :

- les résultats obtenus par la simulation,
- et les données issues des comptages de terrain.

Les données de terrain utilisées pour cette validation sont les **données reconstituées** avec des pas de temps de 5 minutes. Le modèle dynamique fournit quant à lui en sortie des résultats par minute.

Les indicateurs utilisés dans cette partie ont vocation à fournir des éléments de comparaison et de validation des résultats issus du modèle dynamique.

Deux types d'indicateurs sont proposés afin de permettre cette analyse, à la fois de manière qualitative ainsi que quantitative.

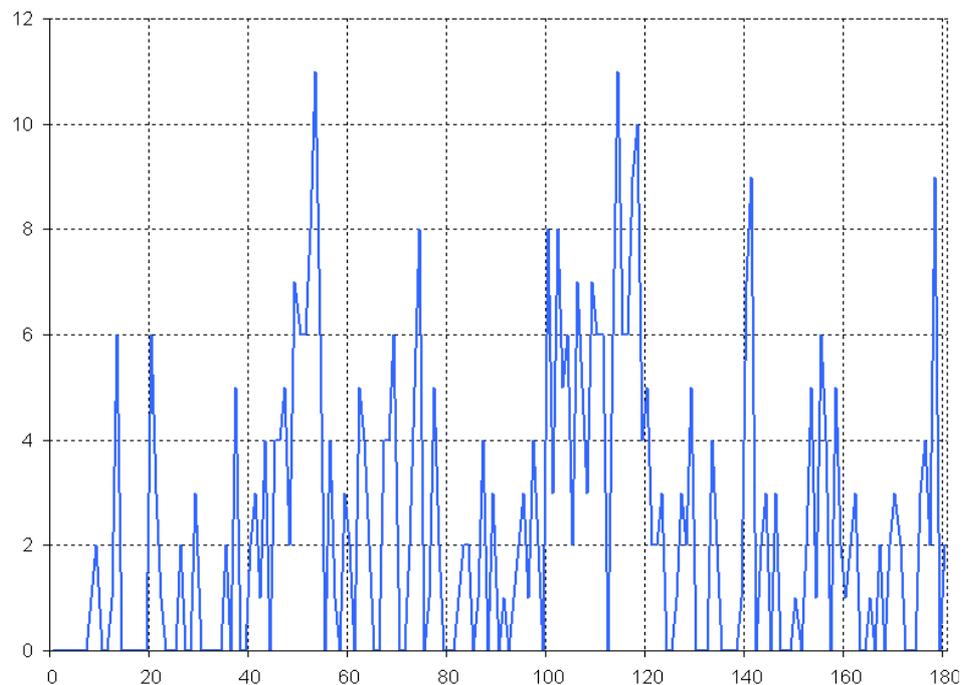
1. Longueur de file d'attente observée par période de 1mn.
2. Répartition des files d'attentes par classes de longueurs.

Longueur de file d'attente

Objectif L'évolution de la longueur de file d'attente dans le temps est représentée sur le tronçon non-prioritaire dans le but d'en faire une analyse qualitative.

La longueur de la file d'attente (en ordonnée) est exprimée en nombre de véhicules. Cette grandeur a été mesurée avec un pas de temps de 1 minute.

Les mesures présentées sur le graphique ci-dessous ont été relevées sur le terrain le mardi 12 juin 2012, entre 16h et 19h, soit sur une période de 180 minutes.



Évolution mesurée de la longueur de file d'attente entre 16h et 19h (nb de véhicules)

Validation du modèle dynamique (suite)

Longueur de file d'attente (suite)

Caractéristiques de l'évolution de la file d'attente

On note que la courbe d'évolution de la file d'attente a une allure relativement discontinue et assez volatile.

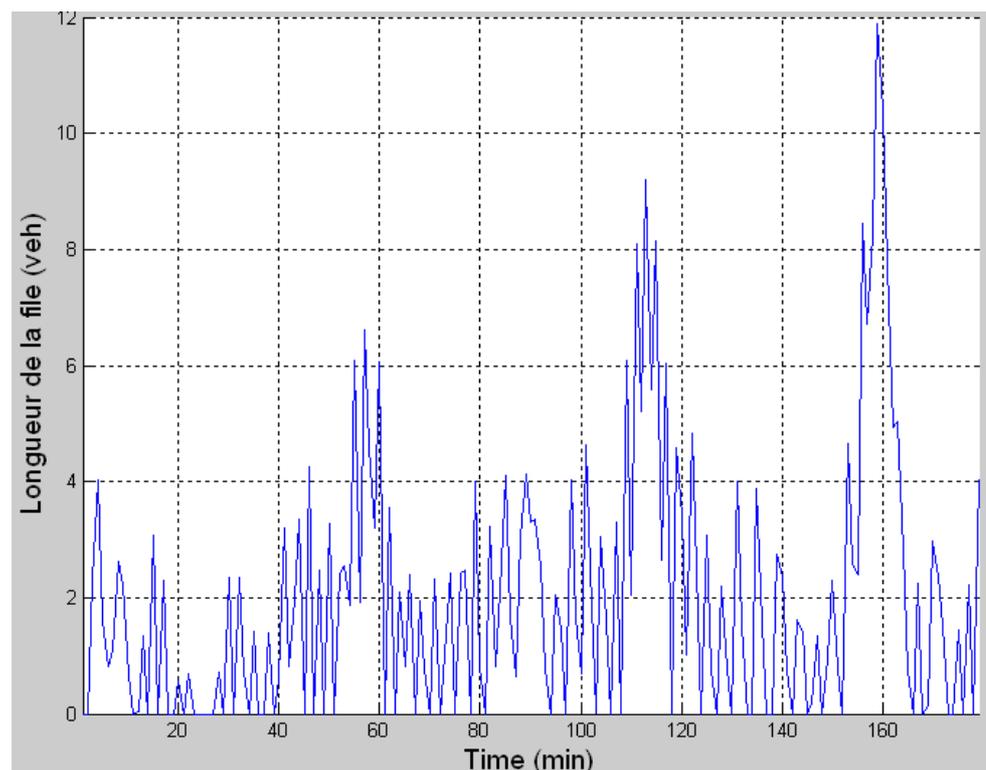
Ces discontinuités sont vraisemblablement issues pour partie de la rencontre, au niveau de l'écluse, de deux régimes d'arrivée des véhicules.

En effet, dans le sens prioritaire, les arrivées de véhicules sont assujetties par un feu tricolore, alors que dans le sens non-prioritaire, les temps d'arrivée des véhicules ont un caractère a priori stochastique.

Ainsi, la file d'attente retombe à certains moments à zéro, et présente ensuite quelques minutes plus tard un "pic", comme cela ce produit, par exemple, autour de la 50ème ou de la 140ème minute.

Évolution de la file d'attente issue de la simulation

Le graphique ci-dessus représente l'évolution de la file d'attente obtenue suite à la simulation du fonctionnement de l'écluse à partir du modèle dynamique.



Évolution simulée de la longueur de file d'attente

La simulation est réalisée à partir des données de débits agrégés avec un pas de temps de 5 minutes.

Les longueurs de file d'attente sont interpolées sur un pas de temps de 1 minute, afin de permettre une comparaison et analyse qualitative avec les valeurs mesurées sur le terrain.

Validation du modèle dynamique (suite)

Longueur de file d'attente (suite)

Comparaison qualitative

La simulation permet de reproduire l'évolution de la file d'attente en respectant de manière assez fidèle les ordres de grandeur mesurés sur le terrain.

On constate ainsi que la file d'attente varie régulièrement entre 0 et 4 véhicules, et qu'elle enregistre les pics se situant entre 6 à 12 véhicules.

On constate également un alignement satisfaisant des tendances d'évolution entre la simulation et la réalité.

La courbe issue de la simulation a cependant une allure plus homogène que celle issue des mesures de terrain. La raison essentielle tient au paramétrage des arrivées de véhicules sur l'écluse. Les temps inter-véhiculaires ou inter-pelotons sont en effet identiques tout au long de la simulation (profils A ou B).

Répartition des files d'attentes par classes de longueurs

Objectif

Cet indicateur est destiné à fournir une comparaison numérique (sur les longueurs de files d'attentes) entre les mesures de terrain et les résultats obtenus par la simulation.

Indicateur

L'indicateur proposé représente la **répartition des files d'attente par classes de longueurs**.

Les classes de longueurs de file d'attente évoluent de deux en deux, à savoir :

- [1,2] ; [2,4] ; [4,6] ; [6,8] ; [8,10] et ≥ 10

La répartition des longueurs de file d'attente par classes se fait par dénombrement du nombre d'occurrences.

Intérêt de l'indicateur

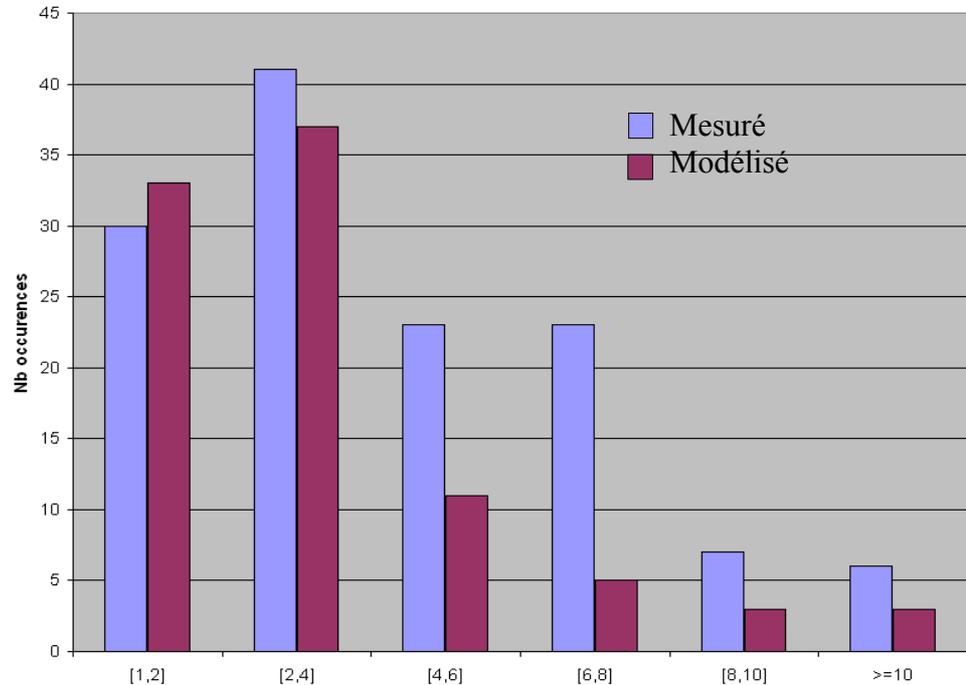
L'intérêt de cette analyse par classes de longueurs est essentiellement d'obtenir une évaluation plus pragmatique de l'outil de simulation, à savoir s'il permet de bien simuler l'ordre de grandeur de la file d'attente en fonction des débits entrants sur chaque branche de l'écluse.

La répartition des longueurs en classes offre ainsi une certaine tolérance dans l'analyse des données, en lissant également les erreurs potentielles de mesures.

Les données utilisées sont l'ensemble des mesures effectuées entre 16h et 19h, sur les 5 jours de mesures et agrégées sur un pas de temps de 5 minutes.

Validation du modèle dynamique (suite)

Répartition des files d'attentes par classes de longueurs (suite)



Répartition des occurrences de longueurs de file d'attente par classes

Résultats numériques Le tableau ci-dessous fournit les valeurs numériques réparties par classes de longueurs de file d'attente, respectivement pour :

- les mesures de terrain,
- les résultats obtenus par simulation.

	[1,2]	[2,4]	[4,6]	[6,8]	[8,10]	>=10
Mesures de terrain	30	41	23	23	7	6
Résultats de simulation	33	37	11	5	3	3

Validation du modèle dynamique (suite)

Répartition des files d'attentes par classes de longueurs (suite)

Commentaire des résultats Plusieurs hypothèses peuvent expliquer l'écart observé au delà de 4 véhicules dans la file d'attente :

- le nombre d'occurrences diminue à mesure que l'on cherche à observer des files d'attente de plus en plus longues, d'où des résultats moins significatifs d'un point de vue statistique,
- le profil d'arrivée des véhicules utilisé dans la simulation (profil B) fait intervenir des pelotons de véhicules répartis uniformément dans le temps, ce qui élimine l'aspect stochastique présent dans la réalité,
- enfin, il est possible que les mesures de terrain comportent un léger décalage temporel entre l'échantillon des longueurs de files et l'échantillon des débits mesurés dans l'écluse.

En conclusion, il semble nécessaire de disposer d'un plus grand nombre de mesures, comportant en particulier des longueurs de files d'attente élevées, afin de pouvoir évaluer plus précisément le modèle dynamique proposé.

Conclusion

Principaux résultats

Un modèle cohérent On dispose d'un modèle cohérent avec un unique site d'écluse.
Ce modèle a permis de développer deux outils :

- un fichier Excel qui permet d'obtenir des abaques de capacité en fonction des caractéristiques de l'écluse et de son site d'implantation,
- un outil de simulation dynamique (développé sous MatLab) qui permet d'estimer la longueur des files d'attente.

Limitations Le modèle développé dans cette étude n'a pu être calibré que sur un seul site d'écluse.

Suites envisageables à cette étude

Enquêtes terrain complémentaires... Il faudrait des données terrain complémentaire sur des sites :

- avec des longueurs différentes d'écluse,
- sans règles de priorité,
- avec une écluse double.

...pour obtenir des outils validés Ces données permettraient de valider le modèle sur plusieurs sites et de caler certains paramètres non validés jusque là (règle de priorité, écluse double).

Rédigé, le

Le chargé d'Affaire

Aurore CLAVEL

Vu et vérifié, le

Le contrôleur technique

Frédéric MURARD

Vu et approuvé, le

Le responsable de commande

Stéphane CHANUT



CETE de Lyon
25 avenue François Mitterrand
Case n°1
69674 BRON Cedex
Tél. : 04 72 14 30 30
Fax : 04 72 14 30 35
CETE-Lyon@developpement-durable.gouv.fr

Département Mobilités PCI RDRT
25, avenue François Mitterrand
CS 92803
69674 BRON CEDEX
Tél. : +33 (0)4 72 14 31 24
Fax : +33 (0)4 72 14 31 20
dmob.cete-lyon@developpement-durable.gouv.fr