

# CYCLES D'ESSAI "CONSOMMATION" DE VÉHICULES INDUSTRIELS

## MÉTHODOLOGIE DE DÉTERMINATION À PARTIR DE DONNÉES STATISTIQUES

INRETS, Laboratoire Transports et Environnement, Bron - Jean-Pierre Roumegoux, [jean-pierre.roumegoux@inrets.fr](mailto:jean-pierre.roumegoux@inrets.fr)  
Renault-Trucks, Advanced Engineering Lyon, Département Recherche et Calculs - Bernard Favre, [bernard.favre@renault-trucks.com](mailto:bernard.favre@renault-trucks.com)



### Résumé

Pour répondre aux attentes de la société et des clients de l'entreprise, Renault-Trucks a lancé en 2001 un programme de R&D de camion à usage urbain, le projet V2U, qui va aboutir à un véhicule de distribution de marchandises propre, économe et silencieux. L'optimisation des organes et des fonctions doit se faire en tenant compte de l'usage des camions, notamment des conditions de circulation et de fonctionnement des groupes motopropulseurs.

A cet effet, le département *Advanced Engineering Lyon* a étudié différents outils d'évaluation de la consommation de gazole, donc aussi de l'émission de CO<sub>2</sub> des camions en usage réel. Le cahier des charges imposait de minimiser les écarts entre l'évaluation et la réalité sur la vitesse moyenne, les valeurs statistiques de vitesses du véhicule, de régimes du moteur ainsi que des couples du moteur.

Après différentes analyses, une méthode de construction de cycles d'essai à partir des données statistiques disponibles à bord des camions, grâce au système Datamax/Infomax qui fournit des histogrammes temporels, a été retenue. Cette méthode présente de nombreux avantages : elle permet d'éviter des opérations longues, coûteuses et difficiles à mettre en œuvre, comme l'instrumentation des véhicules et le recueil de données en exploitation réelle. Les résultats obtenus sont en conformité avec le cahier des charges; des cycles d'essai représentatifs d'une centaine de milliers de kilomètres de fonctionnement ne mesurent qu'une dizaine de kilomètres, ce qui autorise des essais sur banc à rouleau et des calculs très rapides.

### Abstract

To answer waitings of the people and the customers of the company, Renault-Trucks launched in 2001 a program of R&D of truck of use urban, the project V2U, which will lead to a clean, fuel saving and quiet vehicle of distribution of goods. The optimization of the bodies and the functions must be done by taking account of the use of the trucks, in particular of the conditions of circulation and operation of the power units.

To this end, the department *Advanced Engineering Lyon* studied various tools for evaluation of the gas oil consumption, therefore also of the CO<sub>2</sub> emission of the trucks of real use. The schedule of conditions forced to minimize the differences between the evaluation and reality on the mean velocity, the statistics speeds of the vehicle, engine speeds as well as engine torques.

After various analyses, a method of construction of cycles of test starting from the statistical data available aboard truck, thanks to the Datamax/Infomax system which provides temporal histograms, was adopted. This method has many advantages: it makes it possible to avoid operations long, expensive and difficult to implement, like the instrumentation of the vehicles and the collection of data in real exploitation. The results obtained are in conformity with the schedule of conditions; cycles of test representative of a hundred thousands of kilometers of operation measure only one ten kilometers, which authorizes tests on bench on roller and of very fast calculations.

## **Objectifs**

L'origine du développement d'une méthode de construction de cycles d'essai pour évaluer la consommation de gazole des véhicules industriels de transport de marchandises se situe dans le cadre d'un projet PREDIT, soutenu par l'ADEME et portant sur les usages et la consommation de carburant des véhicules de livraison urbaine de moyen tonnage.

L'objectif principal de ce projet était l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules urbains en exploitation, par une adaptation optimale de la motorisation aux conditions de fonctionnement. Cependant une enquête effectuée auprès des exploitants a montré que la majorité des usages de ces camions sont de type mixte : un cas souvent rencontré comporte de la livraison urbaine pendant la journée et des trajets à moyenne ou longue distance de nuit pour l'approvisionnement en marchandises. La méthode doit donc être générale et ne doit pas se limiter aux conditions urbaines.

Un deuxième objectif, important pour Renault-Trucks, était de réduire au maximum les coûts et la durée des expérimentations sur camions, nécessaires pour rassembler les données de fonctionnement des groupes motopropulseurs. Dans la même optique, il était aussi demandé que les distances et les durées des cycles soient les plus courtes possible afin de réduire les temps de calcul (simulations) et des essais de validation (banc à rouleau).

## **Recherche d'une méthode**

L'objectif est de construire un cycle donnant l'évolution de la vitesse du camion et du rapport de boîte engagé en fonction du temps, impliquant des valeurs de couple du moteur (qui résultent des valeurs d'accélération ou des pentes de la route) les plus proches possible de la réalité.

Deux méthodes utilisant des données issues d'enregistrements en continu à bord d'un camion ont été testées. Les variables mesurées en fonction du temps (les pentes sont en fonction de la distance) sont :

- V, la vitesse du camion
- N, la vitesse de rotation du moteur
- C, le couple du moteur
- p, la pente de la route

La première méthode a consisté à extraire une portion du parcours enregistré, la deuxième à effectuer, par le calcul, un bilan énergétique à la roue du véhicule puis de construire un cycle fictif, de forme trapézoïdale, présentant le même bilan.

L'analyse des résultats a montré que l'on peut obtenir une bonne approximation de la vitesse moyenne du véhicule et du régime moyen du moteur, mais que le couple moyen du moteur est éloigné de la réalité, principalement du fait des variations de la pente de la route, qui ont une forte influence sur le couple moteur.

Il faut aussi souligner que ces méthodes sont difficiles à mettre en œuvre : elles exigent des enregistrements à bord des véhicules qui conduisent à des coûts et à des durées élevés; et il faut aussi procéder à un relevé précis des pentes de la route.

Une troisième méthode, qui va être présentée ici, a donc été étudiée. Elle utilise des données statistiques fournies par le système Datamax/Infomax développé par Renault-Trucks et qui équipe tous les camions, depuis le Midlum urbain (7,5 tonnes, 150 chevaux) jusqu'au Magnum grand routier (40 tonnes, 480 chevaux).

## **Le système Datamax/Infomax**

Datamax est un outil informatique de recueil de données intégré au véhicule : les valeurs des variables de fonctionnement du véhicule et du moteur, circulant sur le bus CAN, sont traitées par un ordinateur et stockées en mémoire; elles peuvent être transférées sur un ordinateur, puis retraitées et visualisées à l'aide du logiciel Infomax :

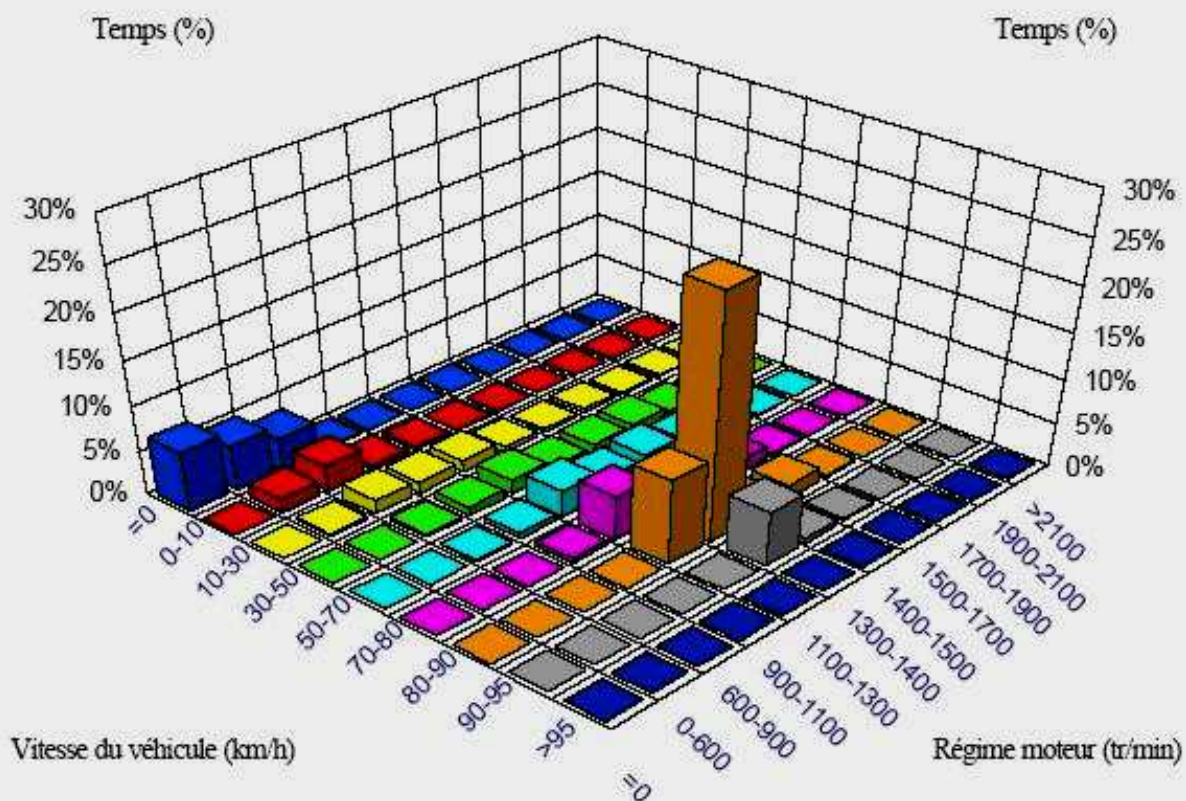
- une centaine de données globales, dont la distance cumulée, le temps cumulé, la consommation de gazole;
- des histogrammes du temps passé à vitesse, régime et couple moteur donnés.

## Exemple de données fournies par Datamax/Infomax (extraction)

Données Générales	Sélection1	Sélection2
Distance	56530,7 km	166255,5 km
Quantité de gazole consommée	17870,1 l	55783,5 l
Temps véhicule roulant	785 h 54 mn 24 s	2309 h 15 mn 10 s
Consommation moyenne moteur tournant	31,6 l/100km	33,6 l/100km
Vitesse moyenne véhicule roulant	71,9 km/h	72 km/h
Vitesse moyenne moteur tournant	67,7 km/h	68,1 km/h
%Temps véhicule roulant/Temps moteur tournant	94 %	95 %

Données moteur	Sélection1	Sélection2
<b>Ralenti</b>		
%Temps/Temps moteur tournant	6 %	5 %
%Consommation/Consommation moteur tournant	1 %	1 %
<b>Régime économique (1000 tr/min-1500 tr/min)</b>		
%Temps/Temps véhicule roulant	87 %	87 %
Consommation moyenne	31,7 l/100km	33,8 l/100km
%Consommation/Consommation véhicule roulant	95 %	95 %
%Distance/Distance totale	95 %	94 %
%Temps en pleine charge moteur/Temps véhicule roulant	9 %	12 %

### Temps en fonction de la vitesse et du régime moteur



Les avantages d'un tel système de recueil des données de fonctionnement en conditions réelles apparaissent immédiatement :

- aucune instrumentation du véhicule, qui demande en général une immobilisation, ni d'opérateur à bord;
- aucune limitation dans le temps, ce qui permet d'obtenir des données d'une excellente représentativité - jusqu'à plusieurs centaines de milliers de kilomètres par camion;
- aucun relevé d'itinéraire à effectuer (pentes de la route);
- coûts et durées de recueil des données réduits au minimum;
- possibilité de cumuler les données de plusieurs camions du même modèle, par une simple sommation; ...

Cependant le système présente, par rapport à des enregistrements en continu sur des parcours bien identifiés et caractérisés, plusieurs inconvénients lorsqu'il va s'agir de construire des cycles d'essai : le poids total du camion n'est pas connu (il est variable), les variables d'environnement ne sont pas maîtrisées (pentes de la route, conditions atmosphériques), les chauffeurs peuvent changer ... enfin les données sont de type statique alors qu'un cycle d'essai est de nature dynamique.

### Description de la méthode

Les données disponibles pour la construction du cycle, issues des enregistrements par Datamax, sont :

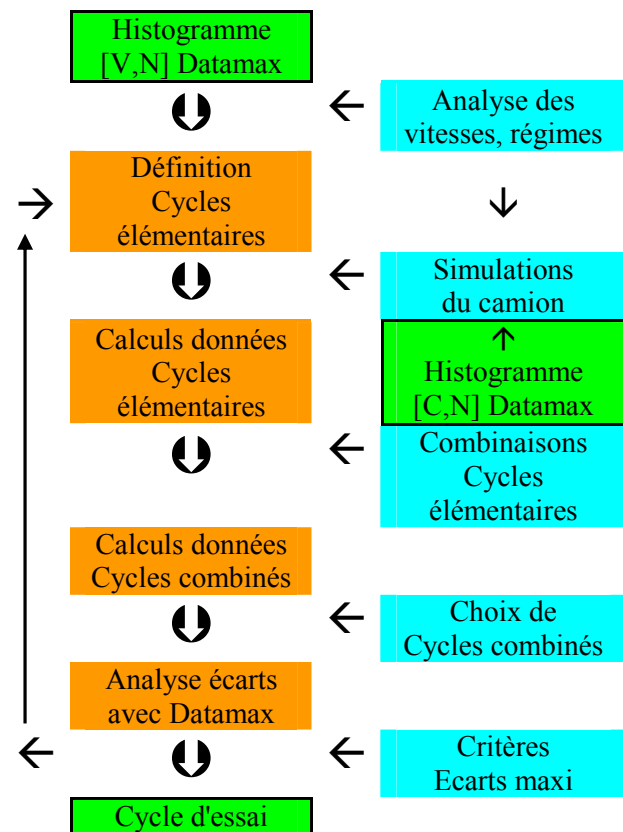
- la vitesse moyenne de roulage (hors arrêts);
- l'histogramme Datamax [V,N] des pourcentages du temps passé à vitesse V et régime N du moteur (classes de V et de N);
- l'histogramme Datamax [C,N] des pourcentages du temps passé à couple C et régime N du moteur (classes de C et de N).

La méthode repose essentiellement sur la mise en œuvre de simulations du véhicule, un camion dont les caractéristiques sont connues.

Les simulations sont effectuées sur des cycles élémentaires à définir, par exemple une mise en vitesse de 0 à 90 km/h suivie d'une décélération jusqu'à l'arrêt, un palier à 50 km/h ... A chacun de ces cycles élémentaires correspondent une distance, une durée et deux histogrammes temporels [V,N] et [C,N].

Le cycle d'essai est ensuite construit comme une succession de cycles élémentaires, par une méthode de combinaison associée à des critères de minimisation des écarts entre les données du cycle et les données Datamax. A ce stade, la méthode devient itérative : l'analyse de ces écarts conduit ou non à définir de nouveaux cycles élémentaires supplémentaires.

### Schéma des principes de la méthode



### Analyses de l'histogramme Datamax [V,N]

L'analyse des vitesses V les plus fréquentes permet une première définition des cycles élémentaires. Couplée à celle des régimes N, elle permet de déterminer certaines données du conducteur.

Les exemples ci-dessous montrent les principes utilisés.

L'histogramme [V,N] contient les valeurs de pourcentage du temps passé à des vitesses allant de 0 km/h à plus de 95 km/h, et à des régimes du moteur allant de 500 tr/mn à plus de 2400 tr/mn.

### Définition de cycles élémentaires

Les cases colorées correspondent à des pourcentages du temps élevés.

V\N	>500	>700	>1000	>1200	>1400	>1600	>1800	>2000	>2200	>2400
=0	0.3	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
>0	12.8	2.8	1.2	0.9	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
>10	2.6	4.1	4.2	2.3	2.2	2.1	1.8	1.3	0.6	0.3
>30	0.2	0.9	2.0	4.5	4.7	4.0	2.9	0.5	0.4	0.4
>50	0.0	0.1	0.5	3.4	3.7	2.4	0.2	1.5	0.8	0.3
>70	0.0	0.0	0.0	0.9	2.0	0.8	2.0	0.0	0.0	0.0
>80	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	3.2	0.1	1.1	0.2	0.0
>90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	0.0	0.0	0.8	0.0
>95	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Cet histogramme suggère quatre possibilités de cycles élémentaires :

- accélération de 0 à 90-95 km/h, puis décélération jusqu'à l'arrêt;
- palier à 90-95 km/h;
- accélération de 0 à 30-50 km/h, puis décélération jusqu'à l'arrêt;
- palier à 30-50 km/h.

### Détermination de données du conducteur

Les cases colorées correspondent à des valeurs de vitesse et de régime (mini-maxi) compatibles avec l'engagement d'un rapport de boîte.

V\N	>500	>700	>1000	>1200	>1400	>1600	>1800	>2000	>2200	>2400
=0	0.3	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
>0	12.8	2.8	1.2	0.9	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
>10	2.6	4.1	4.2	2.3	2.2	2.1	1.8	1.3	0.6	0.3
>30	0.2	0.9	2.0	4.5	4.7	4.0	2.9	0.5	0.4	0.4
>50	0.0	0.1	0.5	3.4	3.7	2.4	0.2	1.5	0.8	0.3
>70	0.0	0.0	0.0	0.9	2.0	0.8	2.0	0.0	0.0	0.0
>80	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	3.2	0.1	1.1	0.2	0.0
>90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	0.0	0.0	0.8	0.0
>95	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Pour déterminer les régimes de passage des rapports de boîte, l'analyse de l'histogramme se fait en tenant compte de la démultiplication de chaque rapport. Compte-tenu des valeurs de régime consécutives à un changement de rapport on les estime à :

- 1050 tr/mn pour le passage d'un rapport inférieur,

- 2250 tr/mn pour le passage d'un rapport supérieur.

### Simulations

A chaque pas du calcul, généralement d'une durée de 1 s, le couple du moteur au régime N en cours est déterminé par la valeur la plus fréquente dans l'histogramme Datamax [C, N] à traiter, ce qui permet de calculer l'accélération du camion, supposée constante pendant la durée du pas. A l'issue du pas de calcul, la durée correspondant à cette valeur de couple moteur au régime considéré est décomptée de l'histogramme; ainsi pour les pas de calcul ultérieurs, sa fréquence d'apparition est diminuée.

Les données d'entrée nécessaires pour ces simulations concernent le véhicule, le conducteur et la pente de la route :

#### Données du véhicule

- poids total
- coefficient de résistance au roulement des pneumatiques
- surface frontale et coefficient de traînée aérodynamique
- rendement et démultiplications de la transmission
- régime et couple moteur du ralenti
- couples maximaux du moteur en fonction du régime du moteur

*Parmi ces données, seul le poids total n'est pas connu; il est supposé constant sur le cycle. Sa valeur initiale est prise égale au PTR moyen (déterminé par des enquêtes auprès des clients de l'entreprise); elle peut être modifiée afin de minimiser les écarts entre histogrammes du cycle et histogrammes Datamax.*

#### Données du conducteur

- régimes moteur de passage de chacun des rapports de boîte, inférieur et supérieur
- temps mis pour changer de rapport
- valeur de décélération du camion lors des ralentissements, éventuellement fonction de la vitesse

- comportement en phase d'arrêt du camion : vitesse et régime de débrayage du moteur, décélération en freinage pour  $V < 10$  km/h

Ces données sont estimées d'une part à partir de quelques enregistrements en continu à bord de camions d'essais, d'autre part grâce à l'analyse de l'histogramme Datamax [V,N].

#### Pente de la route sur le cycle élémentaire

- l'introduction de pentes de la route ne se fait qu'après un premier calcul de cycles combinés; c'est l'analyse des écarts de couple moteur entre les histogrammes [C,N] Datamax et du cycle qui permet de décider;
- si on introduit des pentes sur des cycles élémentaires, il faudra veiller à ce que la pente moyenne sur le cycle combiné soit nulle (un camion revient toujours à son point de départ);
- pour des raisons de simplification des calculs ou essais du camion sur le cycle d'essai, la première option sera toujours l'absence de pentes qui, si il en existe, seront représentées par des phases d'accélération / décélération du camion (ce n'est pas toujours possible).

#### **Calculs des données des cycles élémentaires**

Chaque pas du calcul correspond à une durée, une distance, et des valeurs de vitesse du camion, régime et couple du moteur, dont les durées élémentaires sont cumulées dans les histogrammes [V,N] et [C,N] du cycle élémentaire. L'exemple en page 7 permet d'imaginer le chemin suivi pas à pas dans ces deux histogrammes lors du déroulement d'une simulation 0 – 90 – 0 km/h.

D'autres données relatives à des critères qui interviendront dans le choix de cycles combinés, sont aussi calculées pour chaque cycle élémentaire :

- $X_e$  (m) : distance du cycle,
- $T_e$  (s) : durée du cycle,
- $C_{mot}$  (%) : couple moyen du moteur pour  $C > 0$ , pondéré par le régime
- $N_{mot}$  (tr/mn) : régime moyen du moteur pour  $C > 0$ ,

- $T_{mot}$  (%) : pourcentage du temps  $T_e$  où  $C > 0$ ,
- $hisV(i)$  : total pour chaque ligne  $i$  des pourcentages du temps de l'histogramme des vitesses,
- $hisC(i)$  : total pour chaque ligne  $i$  des pourcentages du temps de l'histogramme des couples,
- $hisN(j)$  : total pour chaque colonne  $j$  des pourcentages du temps de l'histogramme des régimes.

<b>Données du cycle élémentaire 0-90-0</b>		<b>Valeur</b>
$X_e$ (m)	distance du cycle	1291
$T_e$ (s)	durée du cycle	82,4
$C_{mot}$ (%)	Charge moyenne du moteur, pour $C > 0$	58,7
$N_{mot}$ (tr/mn)	Régime moyen du moteur, pour $C > 0$	1777
$T_{mot}$ (%)	Pourcentage du temps où $C > 0$	77,7
$hisV(i)$ (%)	Pourcentages du temps de l'histogramme des vitesses	9 valeurs
$hisC(i)$ (%)	Pourcentages du temps de l'histogramme des couples	11 valeurs
$hisN(j)$ (%)	Pourcentages du temps de l'histogramme des régimes	10 valeurs

#### **Combinaisons de cycles élémentaires**

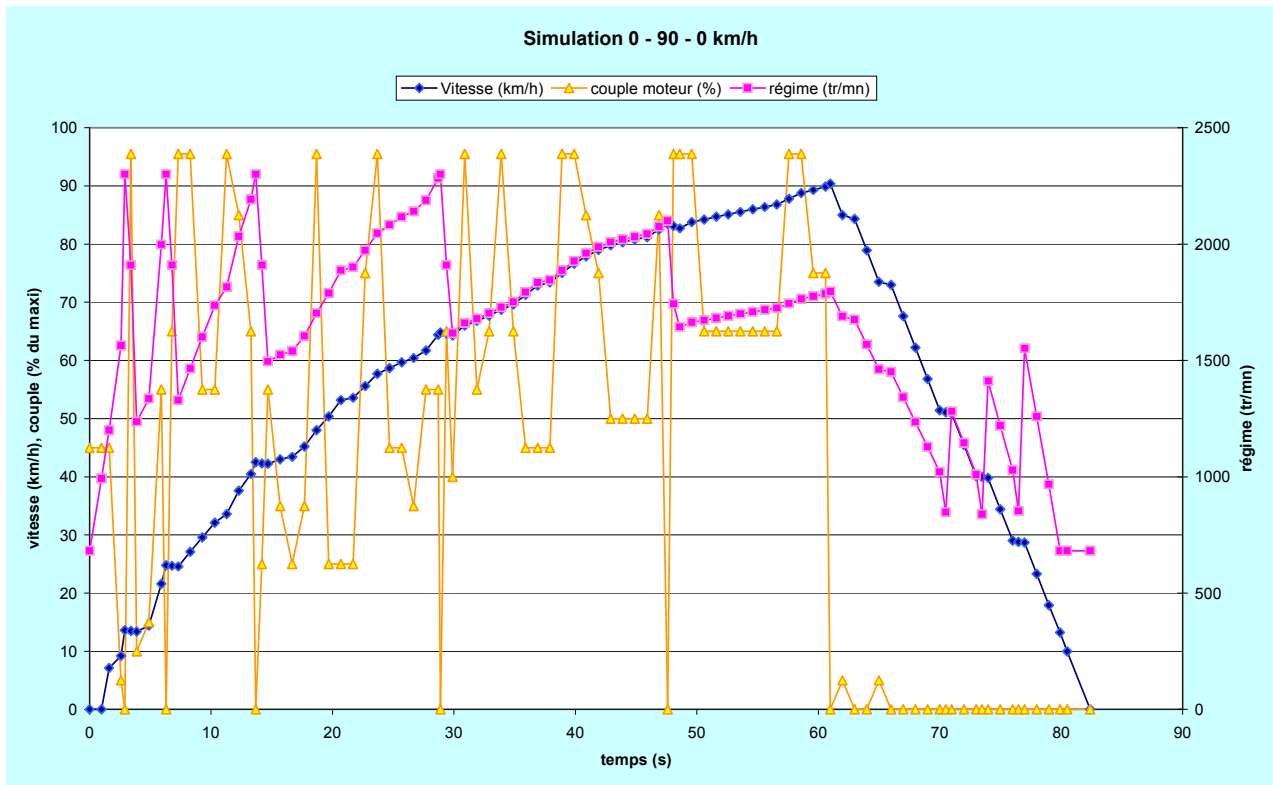
Après avoir constitué une "cyclothèque" de cycles élémentaires et calculé leurs données, les mêmes données sont alors calculées pour toutes les combinaisons possibles des éléments de la cyclothèque; chaque combinaison constitue un cycle combiné.

Par exemple, s'il y a 11 cycles élémentaires et que chacun peut être pris de 0 à 9 fois, les combinaisons possibles sont définies par, simultanément :

- élément 1 : 0, 1, 2, ..., 9 fois
- ...
- élément 11 : 0, 1, 2, ..., 9 fois

Le nombre de combinaisons possibles peut ainsi être très élevé (ici  $10^{11} - 1$ ), ce qui va conduire un temps de calcul assez important (plusieurs heures). Aussi faut-il limiter le nombre d'éléments et les nombres de fois correspondant à chacun; cela se fait lors du bouclage de la méthode (voir le schéma des principes), lors de l'analyse des résultats des calculs de combinaisons de cycles.

## Cycle élémentaire : accélération de 0 à 90 km/h, puis décélération jusqu'à l'arrêt



**Histogrammes vitesse (km/h) – régime moteur (tr/mn)  
couple moteur (% du maxi) – régime moteur (tr/mn)  
temps en s**

V\N	>500	>700	>1000	>1200	>1400	>1600	>1800	>2000	>2200	>2400	Total
= 0	0.1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1
> 0	1.9	0	0.6	0.5	0.5	0	0	0	0	0	3.5
> 10	0.6	1.6	0.9	2.6	2.8	0.9	0.8	0.7	0.5	0	11.4
> 30	0	0.6	2.4	1.6	3.2	3.8	1.3	1.4	0.5	0	14.8
> 50	0	0.6	2	2	0	5.9	3.5	5	1.2	0	20.2
> 70	0	0	0	0.1	2.7	0.9	6.5	0.7	0	0	10.9
> 80	0	0	0	0	0	15.3	0.3	4.5	0	0	20.1
> 90	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0.4
> 95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

<b>Total</b>	<b>2.6</b>	<b>3.8</b>	<b>5.9</b>	<b>6.8</b>	<b>9.2</b>	<b>27.2</b>	<b>12.4</b>	<b>12.3</b>	<b>2.2</b>	<b>0</b>	<b>82.4</b>
--------------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------	-------------	-------------	------------	----------	-------------

C\N	>500	>700	>1000	>1200	>1400	>1600	>1800	>2000	>2200	>2400	Total
= 0	2.6	2.8	5.3	3.9	2.1	1.7	0	0	0	0	18.4
> 0	0	0	0	0.7	1.6	1	0	0.1	0.2	0	3.6
> 10	0	0	0	1	0.3	0	0.1	0.2	0.3	0	1.9
> 20	0	0	0	0.3	1.4	0.2	2.1	0.2	0.1	0	4.3
> 30	0	0	0	0.2	1.2	0.7	0.5	1.2	0	0	3.8
> 40	0	1	0.6	0.1	0.7	1.2	2.2	5.2	0	0	11
> 50	0	0	0	0	0.4	3	1.1	1.3	0.9	0	6.7
> 60	0	0	0	0	0.2	8.6	1	0.8	0.3	0	10.9
> 70	0	0	0	0	0.3	4	1.4	1	0.2	0	6.9
> 80	0	0	0	0	0.4	3.1	1.5	1.5	0.2	0	6.7
> 90	0	0	0	0.6	0.6	3.7	2.5	0.8	0	0	8.2

Les résultats des calculs de combinaisons ne sont édités que pour celles qui satisfont aux conditions d'écart maximum sur les critères de comparaison du cycle combiné aux données Datamax. Les écarts maximum admis sont fixés à des valeurs de plus en plus faibles à chaque bouclage de la méthode, à mesure que la cyclothèque se précise et que les cycles combinés s'affinent. Par exemple pour la première boucle, où le nombre de cycles élémentaires est faible, il faut fixer des valeurs assez élevées pour ces écarts, sans quoi aucune combinaison ne serait trouvée :

**Écarts maximum admis entre les valeurs des critères du cycle combiné et celles de Datamax (1<sup>er</sup> bouclage de la méthode)**

Critère		Ecart maxi
Vr (km/h)	Vitesse moyenne de roulage	1,0
Cmot (%)	Charge moyenne du moteur, pour C > 0	5,0
Nmot (tr/mn)	Régime moyen du moteur, pour C > 0	100
Tmot (%)	Pourcentage du temps où C > 0	5,0
hisV(i) (%)	Pourcentages du temps de l'histogramme des vitesses	10
hisC(i) (%)	Pourcentages du temps de l'histogramme des couples	10
hisN(j) (%)	Pourcentages du temps de l'histogramme des régimes	10

**Calculs des combinaisons et analyses**

Le programme écrit un fichier où figurent le nombre de combinaisons satisfaisant aux conditions sur les écarts et, pour chaque cycle combiné ainsi formé :

- les nombres de chacun des cycles élémentaires;
- les 7 valeurs des écarts.

Au vu de ces résultats on édite alors, pour les cycles combinés à sélectionner, les deux histogrammes des écarts de pourcentages du temps entre cycle combiné et Datamax.

L'analyse des paires d'histogrammes va permettre d'identifier d'une part les meilleures combinaisons, d'autre part les conditions de fonctionnement [V,N] et [C,N] mal représentées; donc de dénir pour la boucle suivante de la méthode :

- les cycles élémentaires à retenir et leurs nombres approximatifs;
- les nouveaux cycles élémentaires à créer.

**Applications – Exemple de cycle combiné**

Cette méthode des cycles combinés peut répondre à deux préoccupations, toujours dans le même but d'optimiser les véhicules afin de minimiser la consommation de gazole pour un usage, ou une catégorie d'usages donnés.

La première application, qui vient d'être développée ici, consiste à établir un cycle d'essai représentatif des conditions de fonctionnement, telles qu'elles sont enregistrées par le système Datamax.

La seconde application n'est qu'une variante : il s'agit de la contraction de parcours de tests. Ces trajets-type sur route, bien caractérisés, sont utilisés par Renault-Trucks pour le développement (calculs et simulations de roulage) et la validation en roulage réel des améliorations apportées aux camions. La plupart de ces trajets présentent l'inconvénient d'une distance importante, ce qui restreint notablement les possibilités de simulation en grand nombre (temps de calcul trop élevé) et d'essais sur banc à rouleau.

L'exemple qui suit présente l'application de la méthode à la contraction d'un trajet-type de 668 km parcouru par un camion de 12 tonnes. Un premier travail a consisté à mettre en forme les résultats de la simulation du camion, à savoir établir les histogrammes [V,N] et [C,N] du trajet à partir des données calculées en continu.

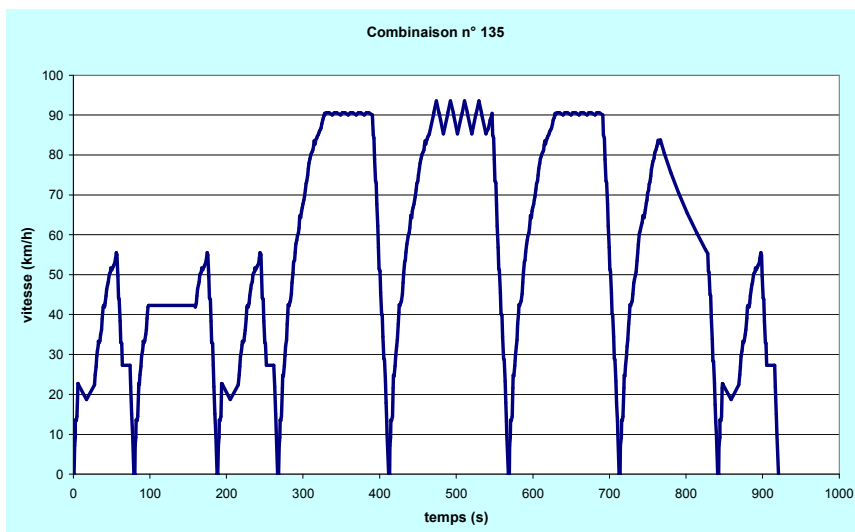
La construction du cycle combiné correspondant a été réalisée après cinq bouclages de la méthode qui ont abouti à 10 cycles élémentaires. Ce cycle (combinaison n° 135) présente des valeurs des critères très proches de celles du trajet-type, et permet de réduire très fortement la distance, qui passe à 14 km seulement .

Cycle Elem	X	T	Cmot	Nmot	Tmot	Vr	Nbmax	Nb	
1	'55_11pal'	154	10	24.8	1100	100	55.4	1	0
2	'25_15pal'	76	10	5.7	1476	100	27.3	10	3
3	'20_11osc'	116	20.6	12.3	1100	50	20.3	4	3
4	'90_17pal'	250	10	45.3	1790	100	90.1	1	0
5	'60_11'	471	48.6	50.9	1309	73	34.9	5	4
6	'85_94osc'	458	18.5	95	1773	50	89.5	4	4
7	'85_55_0'	2091	128.7	32.6	1565	89.8	58.5	2	1
8	'90osc'	261	10.4	42.8	1796	100	90.4	12	12
9	'45_15pal'	117	10	11	1500	100	42.3	7	6
10	'92_17'	1291	82.4	58.7	1777	77.7	56.4	3	3
<b>Combinaison 135</b>	<b>14096</b>	<b>913</b>	<b>45.3</b>	<b>1592</b>	<b>79.5</b>	<b>55.6</b>			<b>36</b>
<b>Trajet-type</b>	<b>667900</b>	<b>43388</b>	<b>44.7</b>	<b>1550</b>	<b>81.5</b>	<b>55.4</b>			

Données des 10 cycles élémentaires pour calcul des combinaisons.

**Nbmax** : nombre maxi de fois où chaque cycle peut être compté.

**Nb** : nombre de fois où chaque cycle a été compté, pour la combinaison 135.



**Tracé du cycle combiné** : vitesse en fonction du temps.

Les cycles élémentaires sont raccordés les uns aux autres, pour former une suite continue.

Les oscillations de la vitesse (à 90 km/h) permettent de reproduire l'influence des pentes de la route sur le couple moteur aux régimes de 1600-1800 tr/mn.

VN	>500	>700	>1000	>1200	>1400	>1600	>1800	>2000	>2200	>2400	Total
0	-1.9	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
>0	-0.3	-0.9	-0.3	-0.5	-0.3	0	0	0	0	0	-2.3
>10	0.6	0.4	5.2	-0.7	0.8	-0.7	-0.4	-0.2	-0.5	-0.9	3.6
>30	0	0.2	1.1	-0.2	3.5	-1.8	-1	-1.3	-0.9	0	-0.3
>50	0	0.4	-3.5	1.1	-2.2	1.6	-0.4	0.5	0.2	0	-2.3
>70	0	0	0	-0.1	1.1	0.3	2	0.3	0	0	3.5
>80	0	0	0	0	-0.5	-1	0.2	0.9	-0.6	0	-1
>90	0	0	0	0	0	-2.7	2.8	0	-0.2	0	-0.1
>95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>-1.6</b>	<b>0.9</b>	<b>2.5</b>	<b>-0.4</b>	<b>2.5</b>	<b>4.3</b>	<b>3.1</b>	<b>0.2</b>	<b>-2</b>	<b>-0.9</b>	<b>0</b>

Histogrammes des écarts de % du temps entre le cycle combiné et le trajet routier.

**Écarts maxi sur totaux** :

- sur hisV : 3.6
- sur hisN : 4.3
- sur hisC : 4.3

**Écarts maxi sur cases** :

- dans [V,N] : 5.2, à faible V
- dans [C,N] : 4.9, à faible C, donc faible écart de consommation

CN	>500	>700	>1000	>1200	>1400	>1600	>1800	>2000	>2200	>2400	Total
0	0.8	0.9	3.7	0.5	-2.7	0.4	0.7	-0.7	-0.8	-0.6	2
>0	-0.6	-0.3	-0.7	-0.2	2.9	-1.9	-0.6	-0.7	-0.3	-0.1	-2.5
>10	-0.1	0	0.4	-0.9	4.9	-1.8	-0.4	-0.2	0	0	1.9
>20	-0.1	0	-1.7	-0.2	0	-2.8	0.7	-0.2	0	0	-4.2
>30	-0.1	0	-2.3	0.7	0	1.9	0.1	0.4	-0.1	-0.1	0.6
>40	-1.5	0.6	1.5	0.1	-0.1	1.3	0.9	1.6	-0.1	0	4.3
>50	0	-0.2	-0.3	-0.1	-0.6	-1.1	0.4	0.3	0	0	-1.4
>60	0	0	0.3	-0.1	-0.5	-0.3	0.1	0.2	0	0	-0.5
>70	0	0	0.4	-0.1	-0.2	-0.3	0.5	0.2	-0.2	0	0.3
>80	0	0	0.4	0.1	-0.3	-0.6	0	-1.1	-0.5	0	-1.9
>90	0	0	0.8	-0.3	-1.1	0.9	0.9	0.3	0	0	1.5

## ***Suite des travaux - perspectives***

Les résultats obtenus montrent que la méthode des cycles combinés répond bien au cahier des charges : elle permet de construire un cycle d'essai de faible longueur, tout en reproduisant correctement les conditions de fonctionnement du camion.

Il reste cependant à valider la méthode du point de vue de la consommation de gazole, par une comparaison des résultats de consommation entre un trajet complet et le cycle d'essai correspondant. Il est prévu d'étudier les cas de plusieurs véhicules industriels (Midlum, Premium, Magnum) sur différents trajets, et d'effectuer les comparaisons à la fois par le calcul, à l'aide de simulations sur ordinateur, et par des essais et des mesures sur banc à rouleau.

Ce travail serait ensuite poursuivi par le développement de l'outil informatique de construction de cycles combinés.

Par ailleurs la possibilité de constituer très rapidement et à faible coût un échantillon représentatif des données de fonctionnement d'un grand nombre de véhicules industriels sur des durées importantes d'utilisation – correspondant à des millions de kilomètres parcourus, ouvre la voie à la recherche de cycles d'essai réglementaires pour la mesure de (la consommation) l'émission de CO<sub>2</sub> des camions complets; aujourd'hui les cycles d'essai réglementaires ne concernent que les émissions de polluants réglementés du moteur seul.

Une telle recherche comprendrait d'une part l'étude et la détermination de paramètres discriminants - du point de vue des conditions de fonctionnement - des différents modèles de camions et de leurs usages, d'autre part l'analyse de la validité des cycles en variations relatives de la consommation (l'émission de CO<sub>2</sub>) résultant d'améliorations technologiques par exemple.