

# Etude Annuelle



## Analyse expérimentale et données constructeur

Au terme d'une année d'utilisation d'un véhicule de marque Citroën, et de type C4-coupé ; j'ai voulu étudier le comportement mécanique avec l'objectif d'optimiser la consommation en carburant. Ce document est composé de données expérimentales mesurées sur l'année, ainsi que de calculs estimatifs basés sur des lois physiques simplifiées, et des données constructeur typiques.

L'objectif principal est d'utiliser le véhicule avec un rendement énergétique optimal. Il s'agit de s'appuyer sur le croisement des données expérimentales et des paramètres constructeur.

## Comportement « durable »

Le développement durable nous concerne tous, c'est pourquoi un rappel sur le comportement responsable dans le respect de l'ensemble des usagers, toutes catégories confondues.

*Cette étude à été menée à partir d'un véhicule neuf.*

## Contenu

### Données mesurées

Statistiques 2

### Données constructeur

Efforts dynamiques 3

Puissance et couple 4

Rendement moteur 5

Conclusion 6

### Sécurité

Energie 7

Distances 7



## Données mesurées

Les véhicules actuels sont équipés d'un ordinateur de bord, véritable assistant à la conduite, il permet d'obtenir de nombreuses informations, qui au final permettent d'optimiser l'utilisation au quotidien.

L'information utilisée majoritairement est la consommation instantanée, exprimée en litres pour 100 kilomètres. Ceci permet d'utiliser le meilleur rapport de boîte pour une situation donnée.

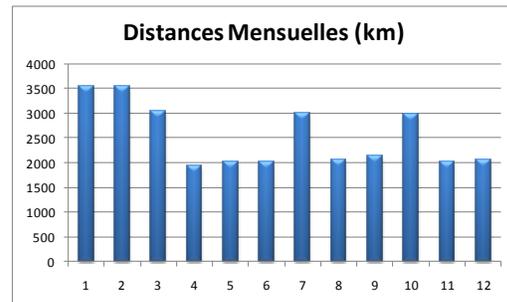
Cette information a été comparée à la consommation effective lors de chaque plein de carburant, information délivrée par le compte Total (GR). Et enfin, il est intéressant de comparer ces données à celles données par le constructeur, qui rappelons le, sont utilisées pour les normes en vigueur.

### Comparaison

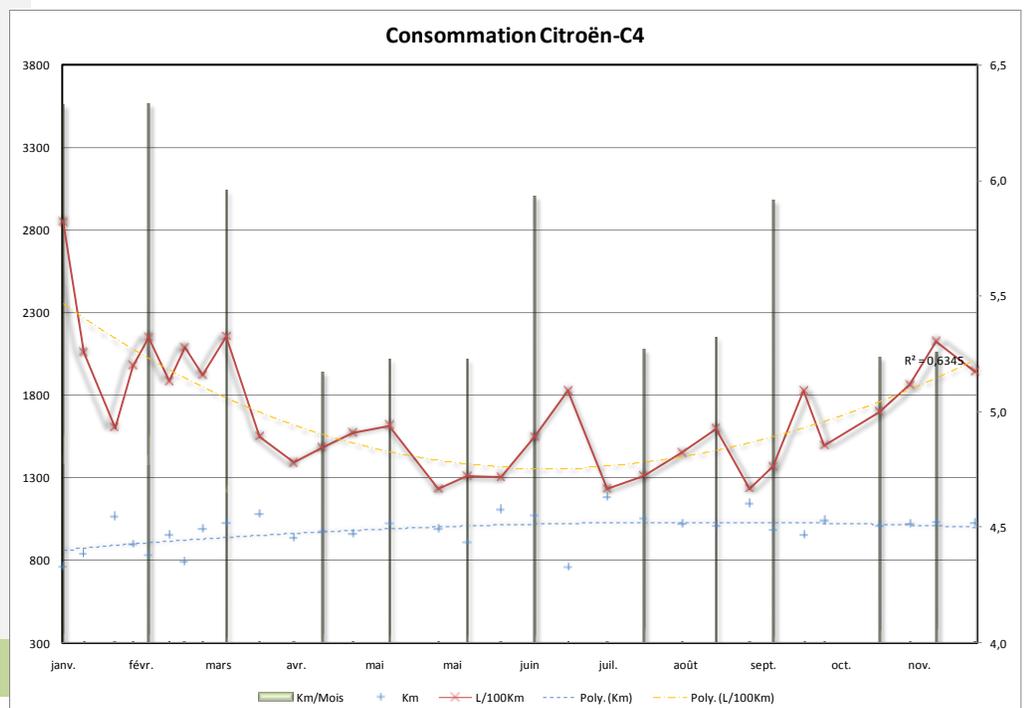
Le constructeur donne en consommation urbaine 6,1L/100 km, extra-urbaine à 4,1L/100km. Les données statistiques exploitées du relevé annuel ont un coefficient de détermination proche de 64%, ce qui ne démontre pas la fiabilité du modèle (indice de confiance).

Ce relevé permet de donner une explication simple entre la mesure électronique et le relevé « à la pompe », bien que ne tenant pas compte des erreurs du au remplissage, différent à chaque plein mais s'opposant aux erreurs de mesures, qui d'ailleurs sont corrigées au fil des kilomètres. Lors de la modélisation du rendement moteur, la pression et la température de l'air sera abordée, ce qui servira de base pour expliquer le minima à 4,7L/100km pour une vitesse moyenne enregistrée à 58km/h sur 3000 km parcourus.

Cette étude préliminaire se base sur une voiture 2 places équipée du moteur 1.6 HDI 92ch. a usage professionnel majoritairement sur routes et autoroutes. C'est ainsi 30571 km ont été pris en compte, soit une moyenne mensuelle de 2548 km :



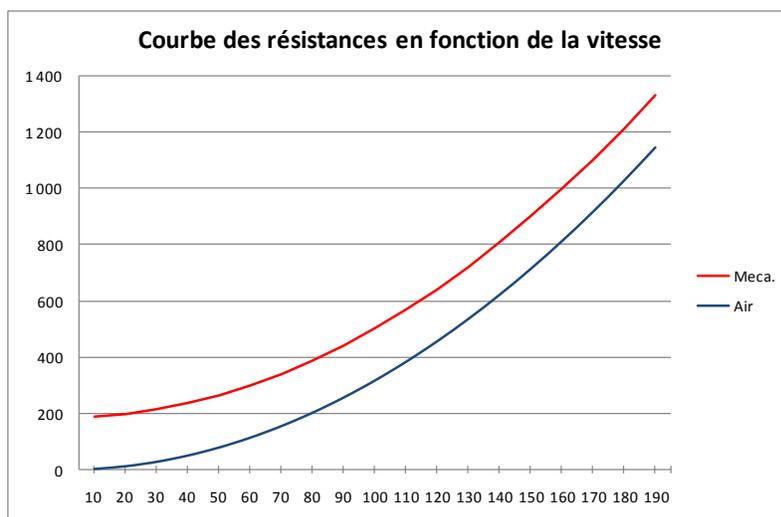
La consommation moyenne relevée est de 5,31 L/100km, soit par discrétisation à 900 km, ce qui correspond à l'autonomie moyenne (hors réserve), une consommation de 4,69 L/100. La première valeur est ainsi très proche de celle mesurée par l'ordinateur de bord soit 5,4L/100. Le second est identique à la carte GR.



## Données constructeur

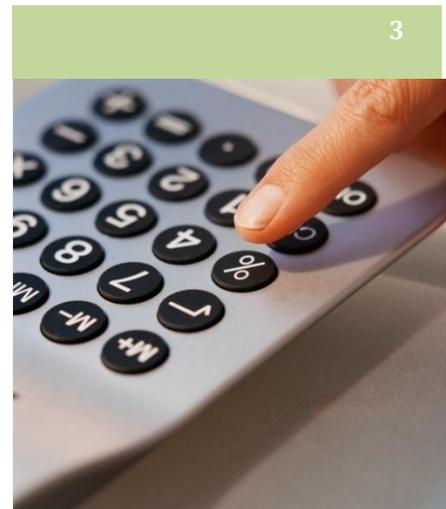
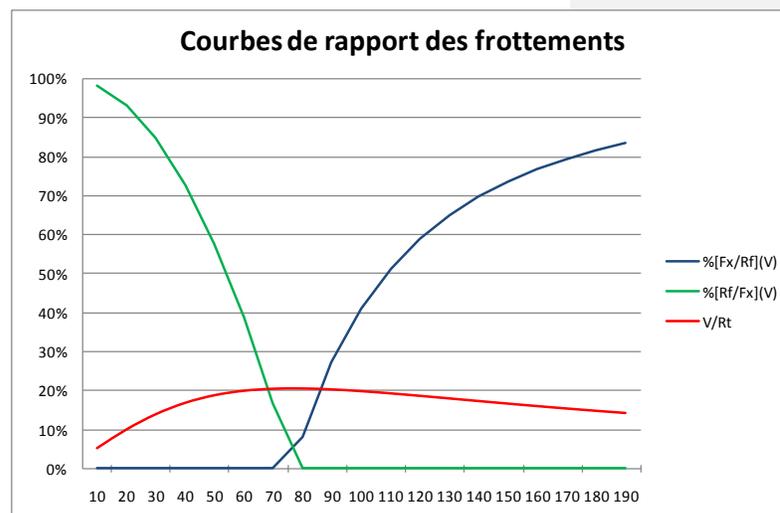
Il est possible en utilisant les données mécanique du constructeur d'établir un modèle simplifié du comportement physique d'un véhicule. La première étape est de sensibiliser le conducteur sur les efforts liés à la dynamique, et de ce fait de l'énergie nécessaire. D'autre part, il est envisageable d'obtenir le rendement typique afin d'adopter une conduite plus fluide, et une adaptation qui permet de réduire significativement sa consommation de carburant.

Les éléments qui suivent sont des modèles simplifiés où la prise en compte de la pression atmosphérique, la température de l'air, de la pression et du type de pneus, et autres paramètres tels que type de carburant, n'ont pas été intégrés afin de simplifier les calculs réalisés avec le tableur MS-Excel 2007.



Ces deux courbes mettent en relation les frottements mécaniques (rouge) qui ont un impact systématique en s'opposant au mouvement. Ceci est d'autant plus vrai lorsque l'ensemble est froid (en dessous de la température optimale de fonctionnement), ce qui se traduit par des performances moindres et une consommation accrue. En bleu, on voit que les frottements liés à l'air sont négligeables lorsque la vitesse est inférieure à 20 km/h, mais augmente plus vite que la résistance mécanique. Les rapports de la résistance au roulement sur la résistance liée à l'air donnent un point de rupture proche de 70 km/h (ratio le plus faible en force cumulées).

La courbe ci-contre montre la zone de fonctionnement nominal, généralement équivalente au régime moteur donné par le constructeur, sur route plate.



## Efforts dynamiques

Les paramètres utilisés sont d'une part la résistance de l'air à laquelle s'oppose tout véhicule en mouvement, et d'autre part à la résistance au roulement qui est liée à l'inertie mécanique globale.

Pour obtenir ces courbes il faut connaître le rendement de la transmission (constructeur), le coefficient de frottement (mesuré). Le Cx (constructeur) et la surface frontale du véhicule.



## Puissance et couple

La puissance du moteur est un facteur de performance important, pourtant le couple est primordial. En effet, la puissance n'est en réalité que la résultante de couple  $t$  du régime moteur.  $P_{(ch)} = [C_{(mkg)} \cdot R_{(tr/min)}] / 716$

Un moteur dont la puissance est disponible sur une large plage de régimes aura un couple plus élevé (reprise correcte à faible allure/régime) et est plus adapté à une conduite fluide, donc éco citoyenne.

## Données constructeur

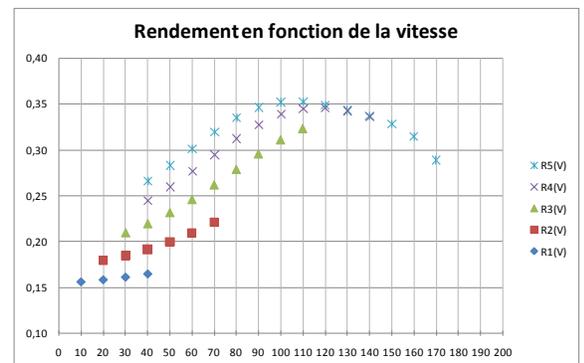
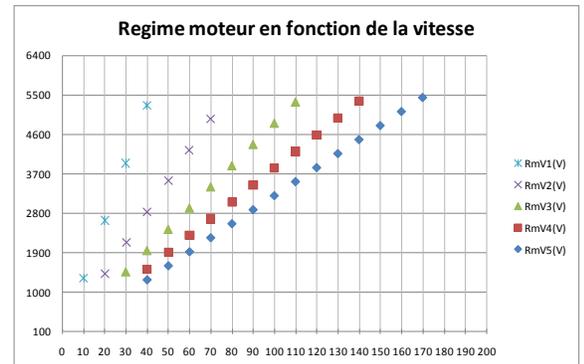
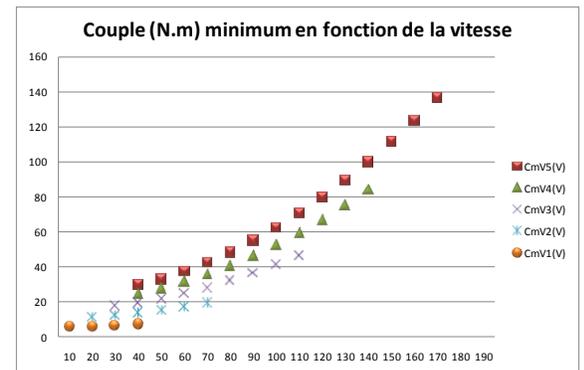
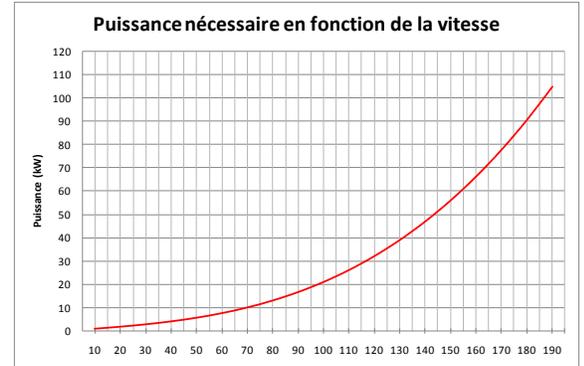
Les graphiques ci-dessous sont issus de calculs très simplifiés mais représentatif du comportement global du véhicule. Certaines valeurs ne sont pas données par le constructeur et ont donc été approchées de façon expérimentale.

Le premier graphe concerne la puissance nécessaire en fonction de la vitesse, sans surprise cette puissance est proportionnelle au carré de la vitesse. Ce paramètre est étroitement lié au rendement global et on constate qu'il faut moins de 5 kW/h pour rouler à 40 km/h. Bien sur ces courbes se lisent pour une vitesse stabilisée, sur une surface de roulement plate et sans vent.

La courbe de couple permet d'apprécier, en fonction du rapport de boîte utilisé, la plage utile à rapprocher de la vitesse de rotation du moteur. Ici c'est environ 26% du couple est disponible à bas régime.

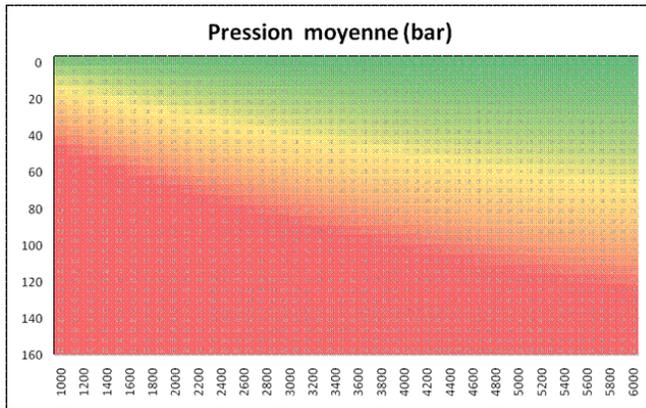
La comparaison du régime moteur en fonction du rapport de boîte donne une indication sur la linéarité des rapports et donc sur le moment (temps) à engager le rapport supérieur. Ceci n'est valable que sur terrain plat, en d'autre terme le rendement moteur n'est pas pris en compte.

Le rendement du moteur varie en fonction de la vitesse et du rapport engagé, en prenant en compte le régime de rotation du moteur ( $tr \cdot min^{-1}$ ), on en déduit la pertinence du rapport à utiliser selon les besoins et la plage optimale de la combinaison moteur/boîte.



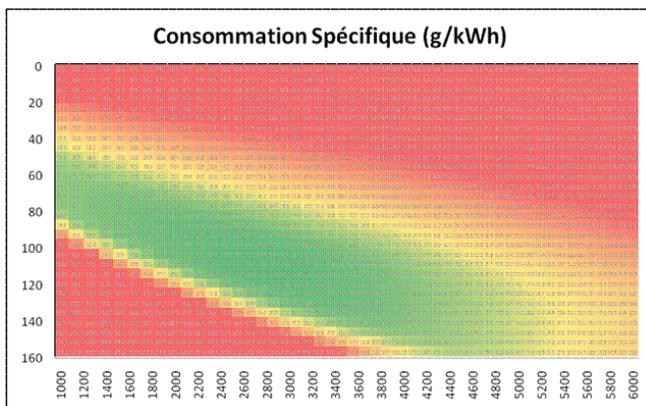
## Données constructeur

La courbe de pression moyenne ci-dessous est un calcul basé sur deux variables : la Vitesse en km/h et la vitesse de rotation en tr/min. Les constantes sont les forces de frottements fluide (air) et roulements (mécaniques simplifiés à gravitation moyenne).

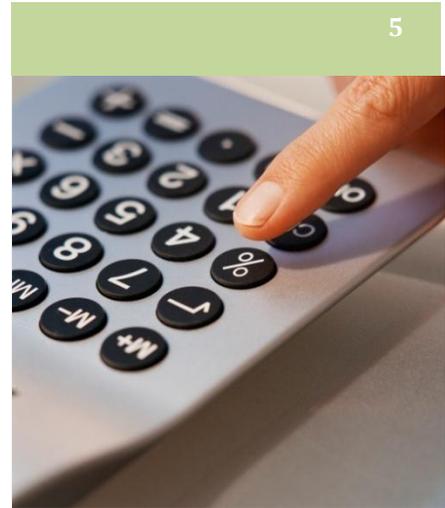


*Ceci nous informe sur la plage d'utilisation raisonnable de la motorisation, en fait dans la limite vert/jaune, il ne faut pas tenir compte des valeurs extrêmes car je n'ai pas inclus les régimes limite de fonctionnement.*

La courbe suivante tente de représenter le modèle de consommation spécifique en prenant en compte les propriétés dynamiques (éléments mécaniques) et le rendement énergétique lié au carburant utilisé.



*La couleur rouge indique les zones hors fonctionnement, la recommandation impose une lecture du haut vers le bas en restant, comme précédemment dans la limite jaune/vert.*



## Rendement moteur

Le rendement caractérise l'efficacité dans le rapport réel/théorique.

La consommation spécifique est valable à pleine charge (hors régulateur, à vitesse constante), en gramme de carburant par kilowatt par heure. C'est l'inverse du rendement thermique par unité de temps et de puissance. Plus la charge diminue (faible accélération), plus la consommation augmente.



## Conclusion

Diminuer sa consommation en carburant est économiquement intéressant. Pour ce qui est de l'environnement, les rejets en dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) sont capitaux dans leur prise en compte, de par leur implication dans le réchauffement climatique. Toutefois, de nombreux autres composants entrent en compte tel que le méthane ( $\text{CH}_4$ ) et les oxyde nitreux ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

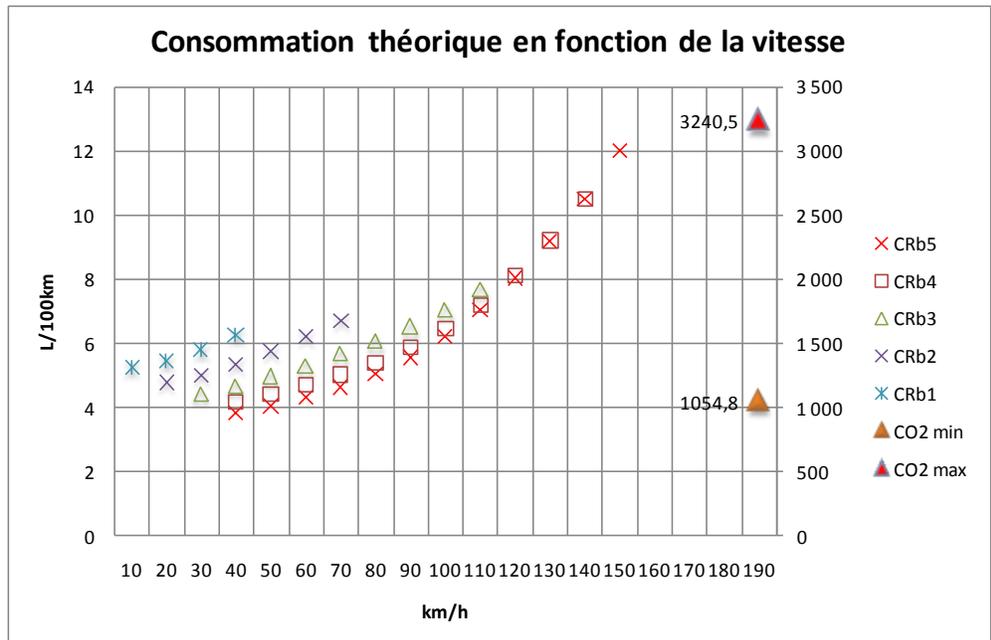
Les calculs sont basés sur un terrain plat, dans le cas de pente, il faut prendre en compte le sinus de l'angle de la trajectoire afin de prendre la fraction du poids tirant le véhicule dans le sens opposé au mouvement.

## Données constructeur

Pour consommer moins de carburant, il faut donc que le rendement du moteur soit à son point d'optimisation et que la charge soit au maximum afin d'obtenir une pression constante. Ceci nécessite que l'apport d'air soit optimal en pression et température (gain calorifique). Aujourd'hui les moteurs sont capables de tirer le maximum de l'énergie calorifique liée au carburant, seule une gestion optimisée des fluides

permet une diminution de la consommation effective.

Dans l'utilisation quotidienne d'un véhicule, il reste possible d'améliorer la performance énergétique par une gestion optimale de la boîte et de la température de fonctionnement global.

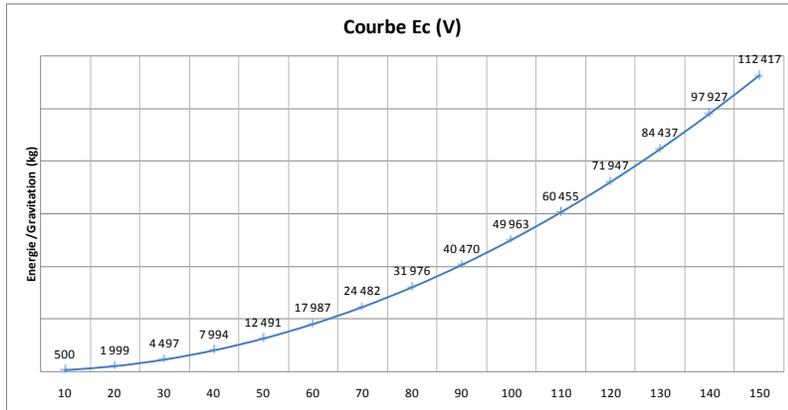


La courbe ci-dessus permet de quantifier la consommation théorique maximale en fonction de la vitesse de déplacement du véhicule. Cela n'est qu'une approche quantitative dont le calcul approche les données du constructeur avec une erreur d'environ 30% en charge maximale. L'utilisation du régulateur de vitesse permet de gagner environ 20% par rapport à ces valeurs, ce qui rapproche dans une mesure acceptable les chiffres avancés par la fiche technique.

Ce graphique indique aussi les rejets mini de  $\text{CO}_2$  à un peu plus d'un kilo pour 100km et jusqu'à 3,2 kg/100 km, soit plus de 36,5 tonnes par an !

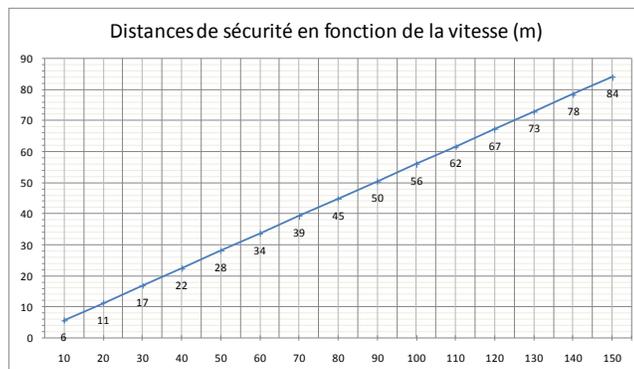
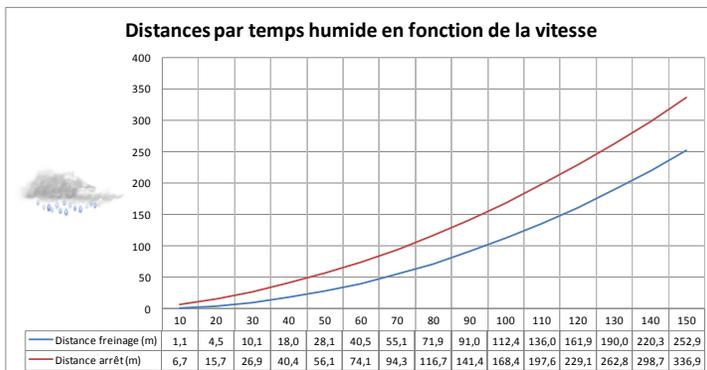
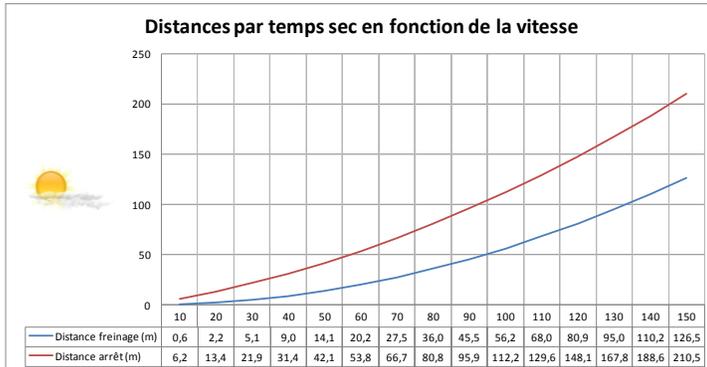
# Sécurité

L'énergie est proportionnelle au carré de la vitesse et en fonction de la masse, ce qui donne le graphe suivant :



C'est pourquoi, même à 50km/h un choc peut-être extrêmement violent, le véhicule approche les 15 tonnes !

De ce fait, il faut absolument avoir à l'esprit les distances de freinage suivantes :



## Energie

L'énergie cinétique est égale à l'énergie fournie par une force au point d'application impliquant la mise en mouvement d'un corps.

Ex. à 50km/h par temps sec, l'accélération du véhicule est d'environ  $-6,8m.s^{-2}$ , et le freinage prendra un peu plus de 2 secondes avant l'arrêt total. D'où l'importance d'une pression correcte des pneumatiques et un système de freinage performant et bien géré afin d'absorber le plus efficacement possible l'énergie cinétique (cf. courbe précédente).

Coefficient de frottement longitudinal	
0,8	pour un béton bitumineux propre et sec
0,7	pour un revêtement moyen
0,6	pour un pavé sec

## Contact

---

Yann DUCHEMIN  
yann.duchemin@free.fr

Sur le Web :  
<http://yann.duchemin.free.fr/>



## Conclusion

Je tiens à votre disposition le fichier Microsoft Excel (2007).

Tous vos commentaires sont les bienvenus.