



Gain de vitesse avec un vélo couché



Jacques Fine
février 2017

<http://www.velomath.fr>
contact@velomath.fr

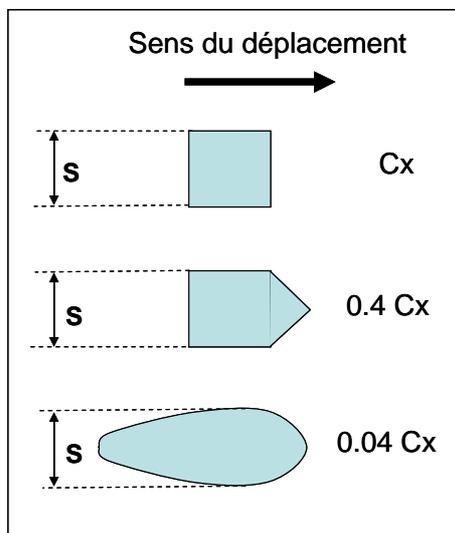
La résistance de l'air est le phénomène physique le plus important qui contrarie le déplacement de tout mobile terrestre. En l'absence de cette résistance, on pourrait atteindre des vitesses considérables à vélo, sans produire beaucoup d'effort. Faute de pouvoir la supprimer, on ne peut que chercher à la réduire. Le vélo horizontal ou encore appelé « vélo couché » est un moyen d'y parvenir.

La résistance de l'air

La force R qui s'oppose au déplacement d'un objet dans l'air s'écrit :

$$R = \frac{1}{2} \rho S C_x V^2$$

- ρ est la masse spécifique de l'air. Elle varie un peu en fonction de la pression atmosphérique, de la température, de l'altitude et du degré hygrométrique. Sous nos latitudes, on l'estimer à 1.25 kg/m³
- S est la « surface frontale » de l'objet en mouvement, c'est-à-dire la projection du contour de l'objet sur un plan perpendiculaire à la direction du déplacement.
- C_x est un coefficient qui porte de nom généralement de « **coefficient de trainée** » et qui dépend de la forme de l'objet, aussi bien de la forme de la partie avant exposée au vent que de celle de la partie arrière, en bref de la « forme aérodynamique » de l'objet.



L'importance de la valeur du coefficient de trainée est illustrée par la figure ci-contre. C_x est le coefficient de trainée d'un cylindre de révolution de section S. Le coefficient de trainée du second objet où l'avant est constitué par un cône de révolution est égal à 0.4 C_x . Le troisième objet, de forme plus aérodynamique mais toujours de section frontale S, a un coefficient de trainée de 0.04 donc égal à 4% du coefficient de trainée du cylindre.

En fait, ce qui nous intéresse est la valeur globale de :

$$K = \frac{1}{2} \rho S C_x$$

car c'est cette valeur globale qui intervient dans les calculs et c'est cette valeur que l'on peut mesurer avec des tests simples. C'est pourquoi, pour ne pas s'embarrasser des valeurs de ρ et de S dont la connaissance n'est pas indispensable, dans tous nos documents nous avons appelé C_x la valeur globale de K et l'avons appelé « **coefficient de pénétration dans l'air** »

Il ne faut donc pas faire de confusion avec des valeurs du C_x que l'on peut trouver dans d'autres documents qui sont plus respectueux des notations utilisées en dynamique des fluides. En particulier, on utilise parfois la valeur globale de SC_x . Il en résulte que pour passer de la valeur de SC_x à la valeur de notre C_x égal à K , il faut multiplier SC_x par 0.5ρ , soit par 0.625

Pour un cycliste en position « couché », la surface frontale S est fortement diminuée par rapport à la position assise classique. On voit donc déjà que cette diminution permettra un gain de vitesse avec un vélo couché.

[Valeur du coefficient de pénétration dans l'air.](#)

Ce coefficient dépend de nombreux paramètres qui régissent l'aérodynamisme de l'ensemble vélo-cycliste. Plutôt que d'essayer de les décortiquer les uns après les autres, il nous semble plus pratique de mesurer directement le coefficient C_x . Cette mesure peut se faire assez aisément par tout un chacun au moyen de l'un des deux tests explicités sur ce site : le test de « vitesse limite en descente » ou le test de « décélération ».

Personnellement, nous n'avons jamais eu l'occasion de rouler en vélo couché et par conséquent, nous n'avons pas mis en œuvre de tels tests. En revanche, on trouvera de nombreux résultats sur le « [Forum du vélo horizontal](#) » (<http://velorizantal.bbfr.net/t22143-scx-et-crr-des-differents-velomobiles-et-velos-couches-du-marche>) auquel on pourra se connecter pour plus de détails. Nous retenons que le coefficient de pénétration dans l'air pour un vélo couché se situe dans la fourchette 0.12 à 0.16. Il s'agit là des valeurs pour un vélo sans carénage car, comme on peut le voir sur le Forum précité de nombreux engins ont été réalisés pour essayer d'abaisser au mieux le coefficient C_x .

En ce qui concerne les vélos assis, le coefficient semble se situer le plus couramment dans la fourchette 0.2 à 0.24

[Influence de \$C_x\$ sur la vitesse.](#)

On rappellera la relation liant la vitesse V (en km/h) aux autres paramètres :

$$P = (f + p) W \frac{V}{36} + \frac{250}{11664} C_x V^3$$

W le poids cumulé du cycliste et du vélo en kg

P est la puissance fournie en watt

p la pente de la route en %

f le coefficient de frottement roues/chaussée en % (en général f est voisin de 1%)

C_x le coefficient de pénétration dans l'air tel que nous l'avons défini

l'unité de temps est l'heure

l'accélération de la pesanteur soit $9,81 \text{ m/s}^2$ a été arrondie à 10 (en conséquence $1 \text{ kg}=10 \text{ Newtons}$)

On peut remarquer que la relation ci-dessus n'est pas une relation linéaire en V mais une relation du troisième degré en V. Elle n'a pas de solution analytique. Pour résoudre l'équation, il faut procéder par méthode numérique.

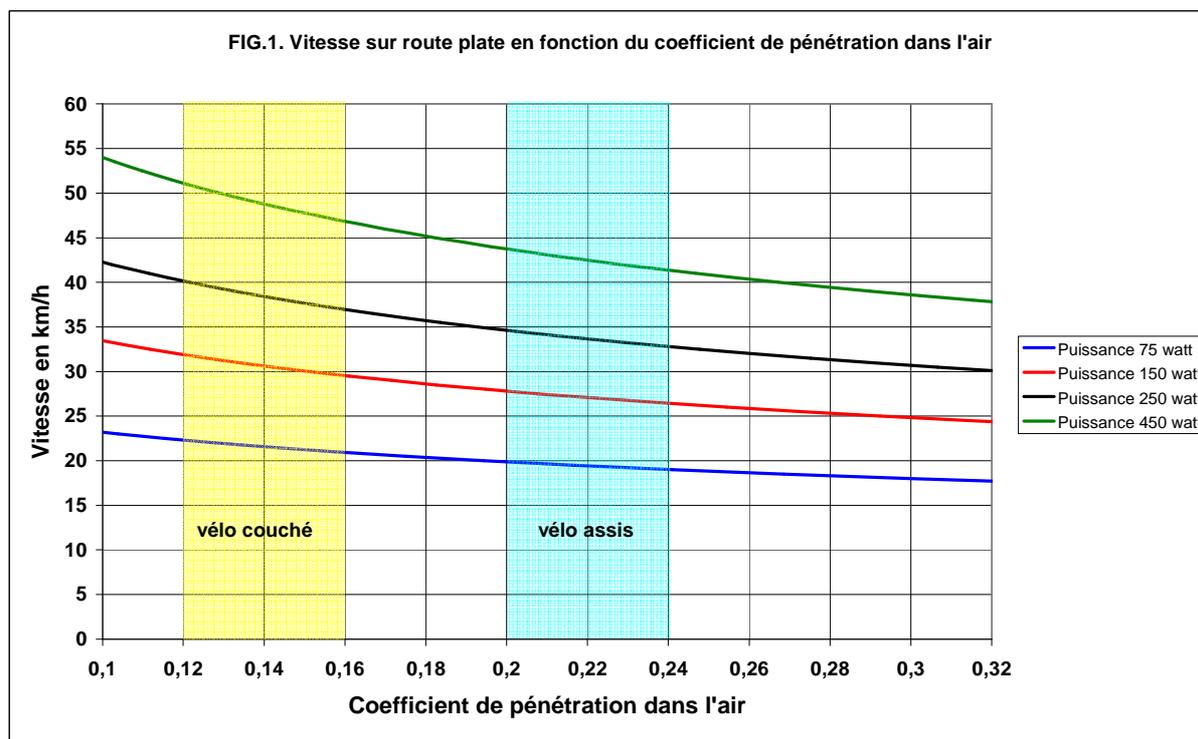
C'est pourquoi, sur ce site, nous avons mis un calculateur en ligne permettant de calculer la vitesse lorsque tous les autres paramètres sont connus.

Applications.

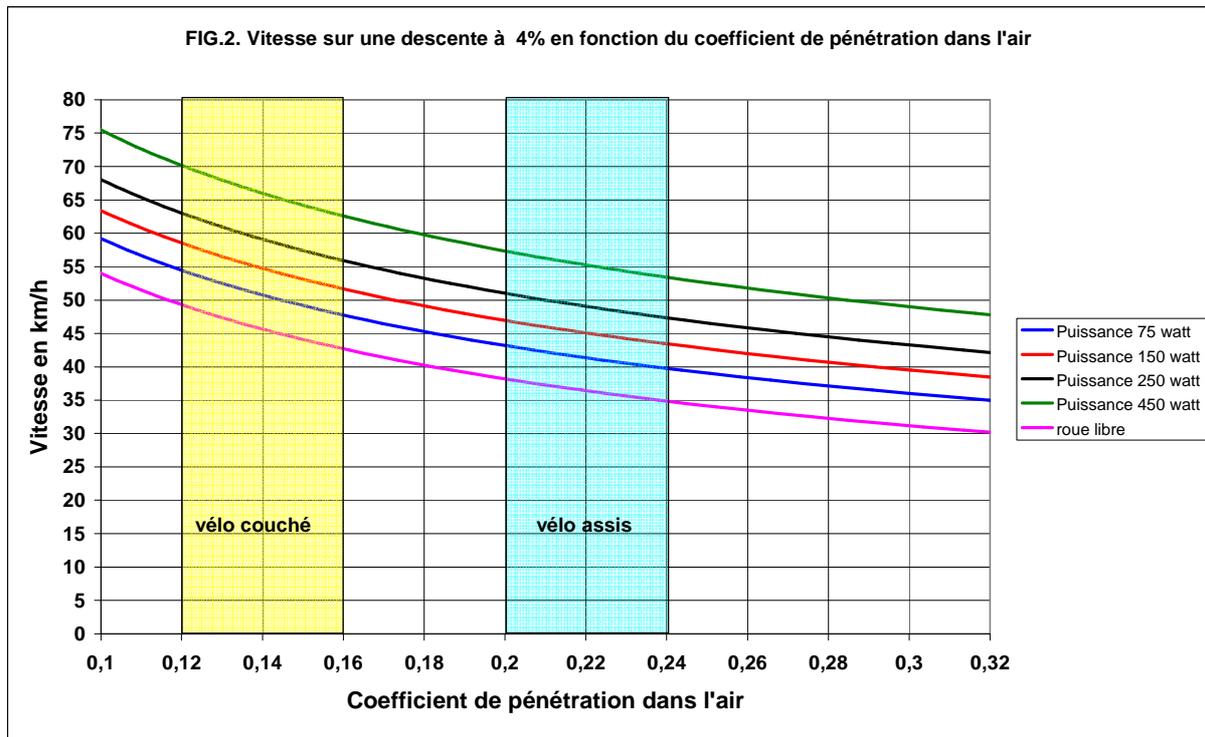
Afin de visualiser l'influence des paramètres, nous avons utilisé la relation ci-dessus pour calculer la vitesse d'un cycliste dont le poids total a été fixé à 75 kg, roulant sur une route avec un coefficient de frottement égal à 1%, en fonction du coefficient Cx de pénétration dans l'air et dans diverses conditions de puissance et de pente de la route.

Sur la figure 1, le cycliste roule sur une route plate. Quatre courbes ont été tracées correspondant aux puissances suivantes : 75 watts (un promeneur), 150 watts (un cyclotouriste), 250 watts (un cycloportif) et 450 watts (un professionnel). Sur le graphique, on a fait figurer la plage des valeurs du Cx pour les vélos couchés et les vélos assis.

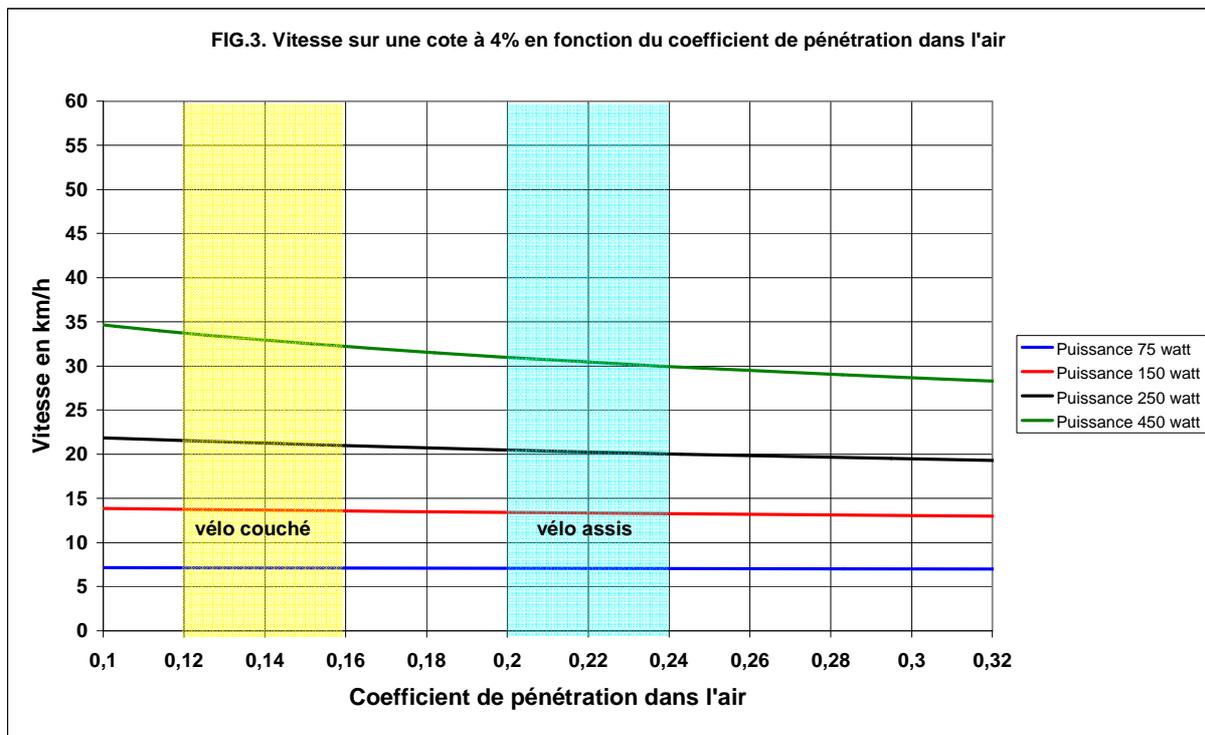
On voit très bien le gain de vitesse pour un vélo couché. Par exemple, avec une puissance fournie de 150 watts, le cycliste assis roulera à 27.1 km/h avec un Cx de 0.22 tandis que le cycliste couché roulera à 30.6 km/h avec un Cx de 0.14



Sur la figure 2, on roule dans une descente à 4%. On voit encore croître le gain de vitesse avec un vélo couché, sa vitesse sera de 54.7 km/h alors qu'elle sera de 45.1 km/h avec un vélo assis.



Si le cycliste se met en roue libre dans la descente (c'est-à-dire avec $P=0$), sa vitesse que l'on peut déterminer avec le calculateur en ligne, sera de 45.6 km/h à vélo couché et de 36.4 km/h à vélo assis.



Sur la [figure 3](#), on grimpe maintenant une cote à 4%. On remarque tout de suite que le gain de vitesse devient faible. A vélo assis, toujours avec une puissance de 150 watts, la vitesse est de 13.3 km/h et à vélo couché elle n'atteint que 13.7 km/h. Cela est tout à fait logique puisque, en montée, la force de pesanteur à vaincre devient prépondérante par rapport à la résistance de l'air.

Influence du poids

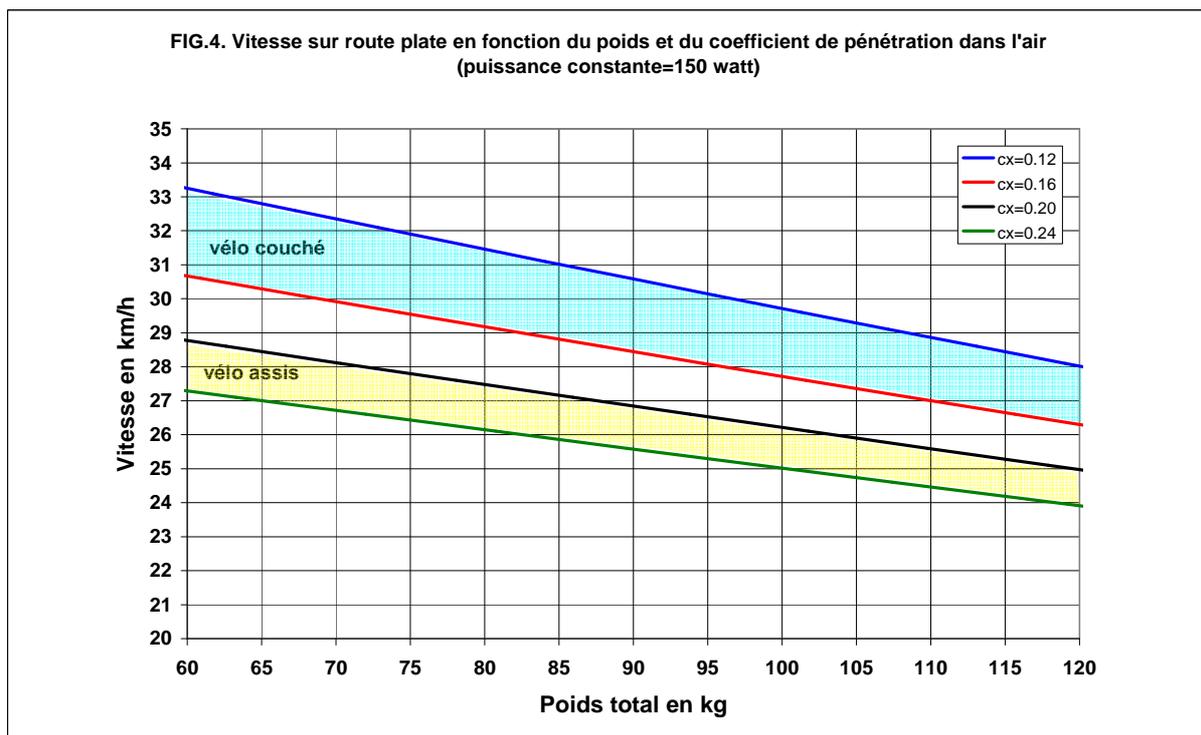
Dans les applications ci-dessus, on a considéré que le poids du vélo couché était le même que celui du vélo assis. En pratique, les vélos couchés sont assez lourds par rapport aux vélos assis. Le poids des vélos de route classique se situe dans la fourchette de 8 à 10 kg.

En ce qui concerne les vélos couchés, il est difficile de trouver leur poids dans les catalogues des vendeurs. L'enquête faite par le site Forum du vélo horizontal montre que le poids minimum serait de 10 kg et que l'on peut atteindre 20 kg et même plus.

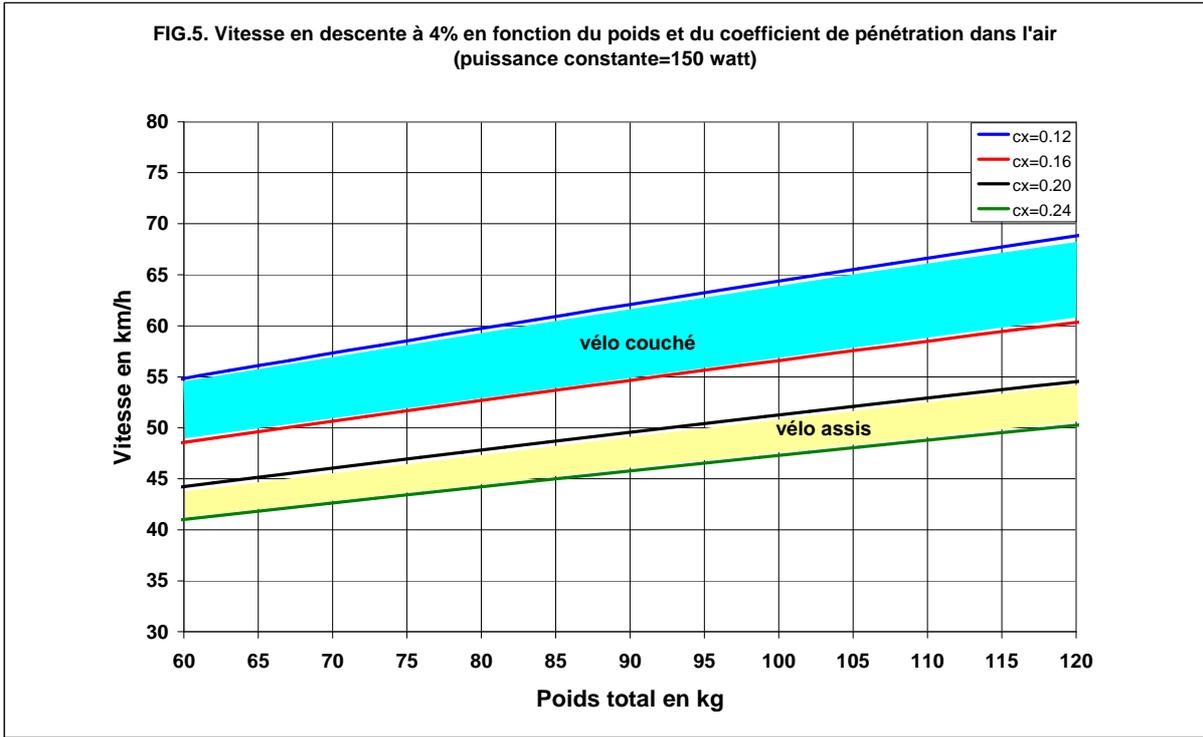
Il est évident que l'augmentation du poids réduit la vitesse sur le plat et surtout en cote.

La [figure 4](#) montre la variation de vitesse lorsque le poids augmente, tous les autres paramètres restant constants. On constate que la diminution de vitesse est quasiment linéaire.

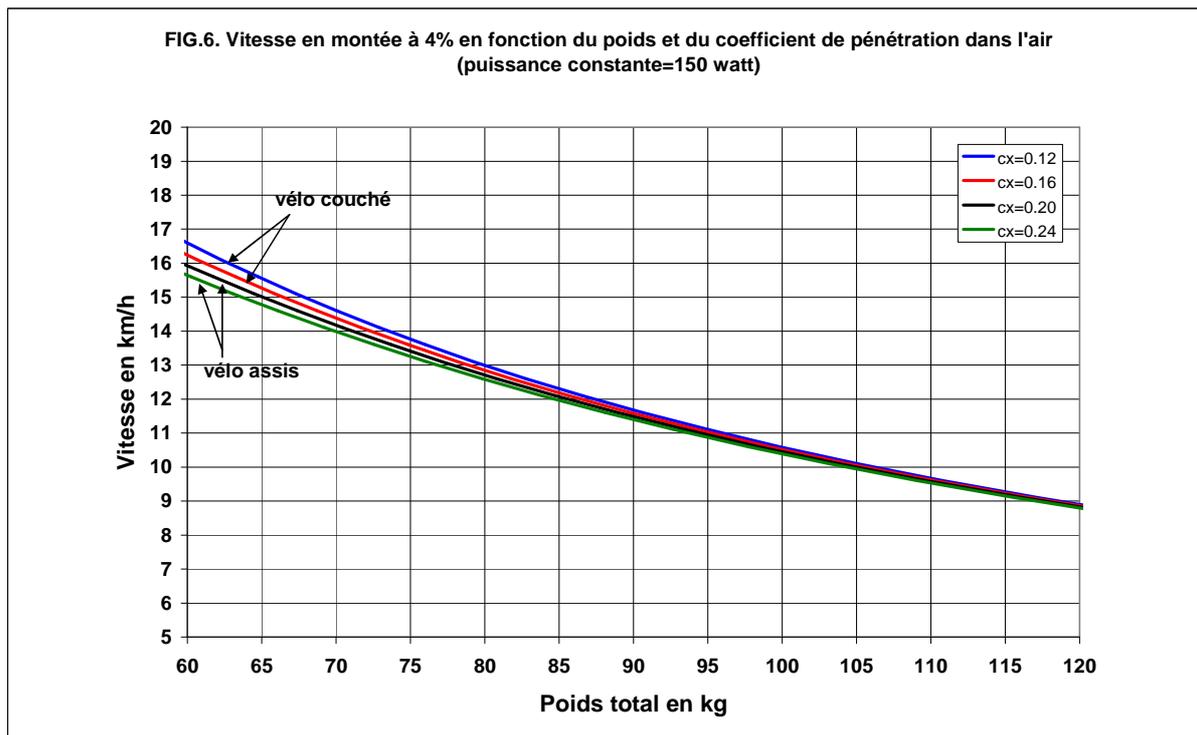
La perte de vitesse pour un vélo assis serait de l'ordre de 0.55 à 0.65 km/h pour 10 kg de poids en plus et de l'ordre de 0.7 à 0.9 km/h pour un vélo couché. La différence entre vélo couché et assis est assez faible. Pour que les performances d'un vélo couché soit équivalente à celle d'un vélo assis d'un point total de 75 kg, on peut voir sur le graphique qu'il faudrait que le vélo couché ait un poids supérieur à 25 kg au poids du vélo assis.



Il y a donc nettement avantage en faveur du vélo couché si l'on roule sur le plat. Cet avantage va encore évidemment s'accroître en descente où la composante motrice de la force de pesanteur est dans le bon sens. La [figure 5](#) illustre le gain de vitesse de vitesse avec un vélo couché dans une descente.



En revanche, c'est en cote que le poids du vélo va se faire sentir puisque la composante de la pesanteur n'est plus motrice mais devient résistante et, plus le vélo est lourd, plus cette composante sera importante. La figure 6 illustre la variation de vitesse avec le poids lorsqu'on gravit une cote à 4 %. Les courbes se resserrent. A poids égal, on voit que le vélo couché garde encore l'avantage mais si le poids du vélo couché est augmenté de 10 kg, on voit que la perte de vitesse va se situer autour de 1.3 à 1.4 km/h.



Finalement : gain ou perte ?

On voit donc très bien qu'un parcours en montagne désavantagera un vélo couché à cause de son poids. La perte de vitesse en montée sera-t-elle compensée par le gain sur le plat ou en descente ?

Pour répondre à cette question, prenons un parcours de 150 km très schématisé comme suit : une montée de 50 km à 4%, un plat de 50 km et une descente de 50 km à 4 %.

Calculons la vitesse à laquelle roulera un cycliste fournissant une puissance de 150 watt en fonction du type d'engin : un vélo assis (poids total 75 kg $C_x=0.20$) et des vélos couchés de poids différent ($C_x=0.12$).

Le calcul peut se faire aisément en utilisant le calculateur en ligne « vitesse » proposé sur ce site. On en déduit le temps mis pour parcourir chaque tronçon et donc le temps total. Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous

On constate que le vélo couché garde l'avantage sauf pour un supplément de poids de 15 kg.

		vélo assis 75 kg	vélo couché 80 kg	vélo couché 85 kg	vélo couché 90 kg
montée 50 km	vitesse km/h	13,41	13	12,31	11,68
	temps h:m:s	3:43:43	3:50:46	4:03:42	4:16:51
plat 50 km	vitesse km/h	27,8	31,47	31,02	32,58
	temps h:m:s	1:47:55	1:35:20	1:36:43	1:32:05
descente 50 km	vitesse km/h	46,95	59,74	60,93	62,1
	temps h:m:s	1:03:54	0:50:13	0:49:14	0:48:19
	temps total	6:35:32	6:16:19	6:29:39	6:37:14

Le parcours de 150 km pris en exemple ci-dessus est très théorique. Faisons donc un calcul sur un parcours réel comportant de nombreuses montées et descentes. Prenons le parcours de la randonnée classique Levallois-Honfleur qui peut être considérée comme une randonnée de plaine peu accidentée et comparons-le avec le parcours de la randonnée toute aussi classique « La Marmotte » qui est un parcours de montagne.

Le calcul du temps peut se faire tout aussi facilement par le calculateur en ligne proposé sur ce site « Simulation parcours » en important les caractéristiques de ces parcours à partir du site « Openrunner ».

Les résultats sont mentionnés dans le tableau ci-dessous.

		vélo assis 75 kg	vélo couché 80 kg	vélo couché 85 kg	vélo couché 90 kg
Levallois-Honfleur 215 km	vitesse km/h	26,62	29,65	29,07	28,53
Dénivelé + 958 dénivelé - 990	temps h:m:s	8:04:36	7:15:05	7:23:45	7:32:09
La Marmotte 177 km	vitesse km/h	16,01	16,06	15,33	14,66
Dénivelé + 5299 dénivelé - 4171	temps h:m:s	11:03:20	11:01:16	11:32:46	12:04:25

On peut constater que sur Levallois-Honfleur le vélo couché est gagnant même avec un poids supérieur de 15 kg par rapport au vélo assis.

Sur le parcours très accidenté de La Marmotte, le vélo couché fait quasiment jeu égal avec le vélo assis si son poids n'est pas supérieur de 5 kg. En revanche, avec une différence de 15 kg, il perdra environ une heure. Il faut quand même bien noter que le dénivelé positif de la Marmotte est bien supérieur au dénivelé négatif, donc beaucoup plus de montées que de descentes, car le parcours se termine après l'ascension de l'Alpe d'Huez.

En conclusion, on voit l'importance des coefficients Cx et du poids pour évaluer le gain ou la perte de vitesse. Le coefficient Cx peut être déterminé par les tests proposés sur ce site. Une fois ce paramètre connu, le calculateur en ligne peut permettre à chacun de rentrer ses propres paramètres pour une estimation prévisionnelle de ses performances.

Globalement, on peut dire que l'abaissement de la valeur du Cx malgré l'augmentation du poids est une option gagnante. On comprend donc bien le pourquoi de la mise au point de carénage divers et d'engins plus originaux les uns que les autres pour abaisser le Cx.