

Challenge Éduc Éco

Analyse énergétique et premier essai d'optimisation du profil de vitesse sur un tour du circuit de Nogaro (3,6 km), à parcourir à une vitesse moyenne minimale de 30 km/h

Modélisation

Véhicule

Masse = 200 kg

Surface frontale = 1,05 m²

Cx = 0,5 (en fait 0,5 +/- 0,1)

Coefficient d'adhérence pneu-route :

Cpr = 0.0015 (*pneu spécial Éduc Éco*, sinon Cpr vaut 0,01)

Altitude

L'élévation du circuit de Nogaro est modélisée par une **interpolation linéaire** des relevés d'altitude effectués par l'équipe INSA Toulouse en 2000. On pourrait imaginer une autre interpolation, mais qui serait à justifier.

Pertes Joules

On a choisi un modèle de pertes Joule dans le moteur électrique proportionnel au carré de la force motrice (force développée par le moteur au niveau des roues, à travers l'éventuel réducteur).

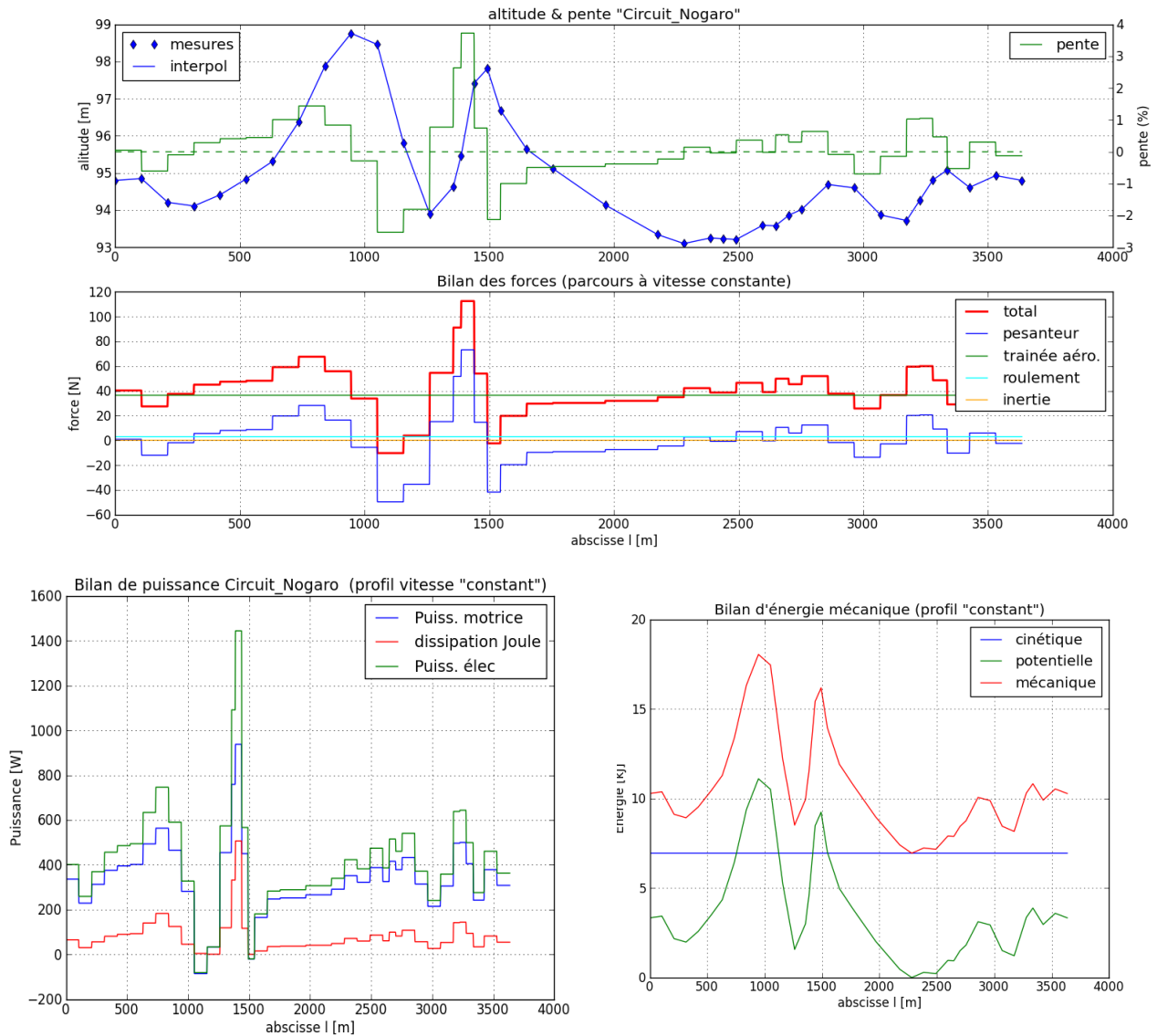
On a fixé arbitrairement la constante de proportionnalité telle que **Pj = 100 W @ f_mot = 50 N**, ce qui donne des ordres de grandeurs raisonnables, mais peut-être sous évalués.

En fait ce coefficient de perte dépend du moteur choisi, et il conviendra de le *mettre à jour* dans une prochaine étude.

Analyse et optimisation

Parcours à vitesse constante

Comme point de départ, on choisit un profil de vitesse constant égale à la valeur $30 \text{ km/h} = 8,33 \text{ m/s}$



Bilan d'énergie sur un tour : Énergie consommée au total (électriquement) : 176.4 kJ

- Énergie consommée mécaniquement : 143.3 kJ, dont :
 - résistance au roulement : 10.7 kJ
 - résistance aérodynamique : 132.6 kJ
- Pertes Joule dans le moteur : 33.2 kJ

L'essentiel de la dépense énergétique est donc liée à l'*aérodynamique* du véhicule, sur laquelle le profil de vitesse n'influe pas.

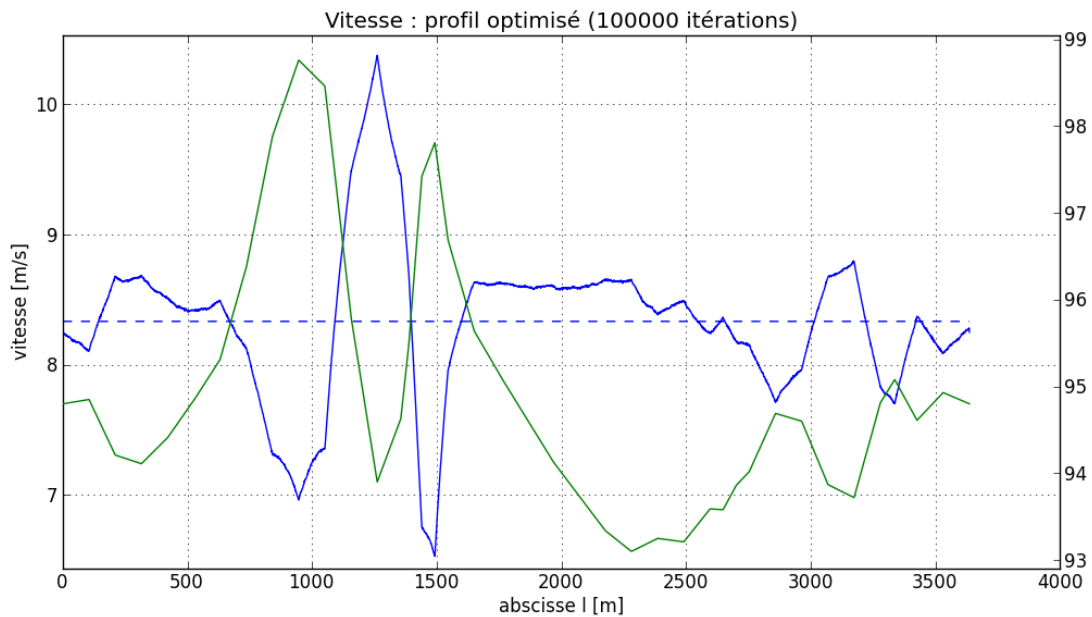
On constate de **fortes variations** de la force motrice, et donc de la puissance motrice dues aux variations de pente :

- La force motrice varie entre [-10 N et 110 N]
- La puissance motrice varie entre [-100 W et 900 W] pour une moyenne à 330 W

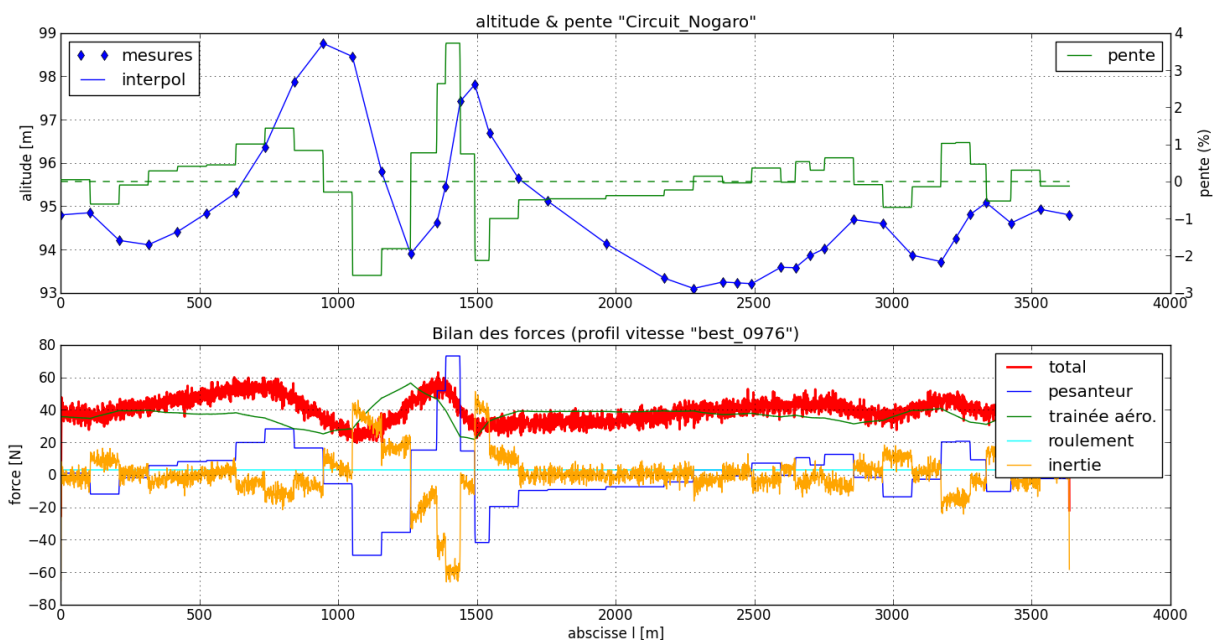
Lorsqu'on ajoute la puissance dissipée par effet Joule, la puissance électrique absorbée par le moteur **frôle des 1500 W** en pointe ! Un moteur dimensionné pour satisfaire ce profil sera donc encombrant et peu optimal.

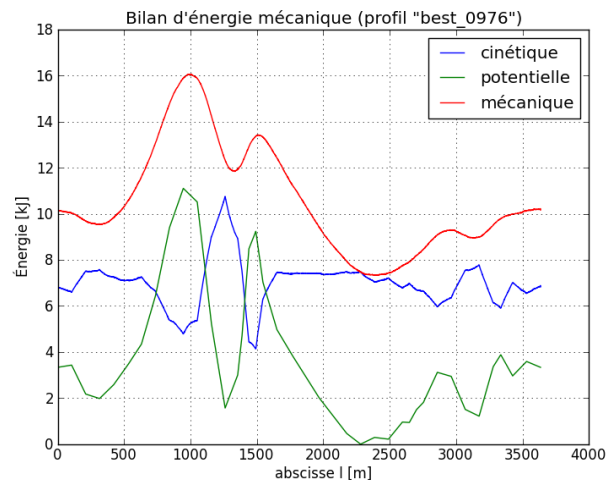
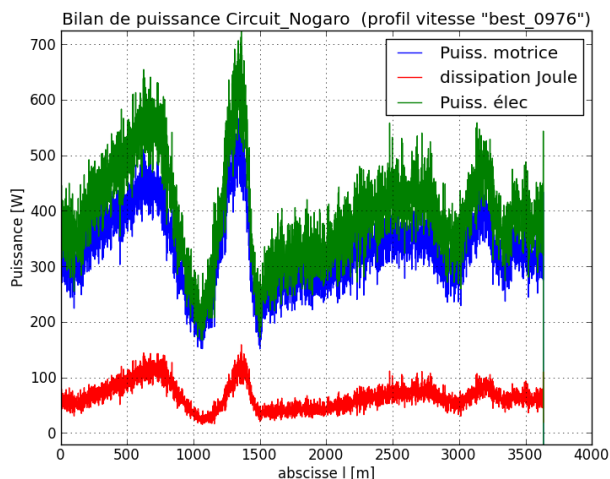
Parcours à vitesse « optimisée »

À l'aide d'une méthode de recherche aléatoire adhoc (et pas super efficace), on a cherché à minimiser **l'énergie totale consommée**.



Le profil obtenu, dont la moyenne est toujours 8,33 ms/s (30 km/h) *présente des variations* qui sont à peu près négativement proportionnelles à la pente. Cela s'interprète bien en terme d'énergie mécanique (somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle de pesanteur), cf. graphiques. *Ces variations restent malgré tout modérées*, de l'ordre de +/- 25 % [6,4 m/s – 10,4 m/s] ou [23 km/h – 38 km/h].





Bilan d'énergie sur un tour : Énergie consommée au total (électriquement) : 172.4 kJ

- Énergie consommée mécaniquement : 143.9 kJ, dont :
 - résistance au roulement : 10.7 kJ
 - résistance aérodynamique : 133.3 kJ
- Pertes Joule dans le moteur : 28.4 kJ

Ainsi, il y a très peu de variation de l'énergie totale consommée (*moins de 3%*). Les gains se sont fait sur les Pertes Joule dans le moteur, par une **réduction forte des variations de la force/puissance motrice**.

- La force motrice varie entre [20 N et 60 N]
- La puissance motrice varie entre [150 W et **600 W**] pour une moyenne à 330 W (moyenne inchangée)

Lorsqu'on ajoute la puissance dissipée par effet Joule, on obtient une puissance électrique absorbée qui ne dépasse pas les 700 W (amélioration de plus de 60 % !).

Conclusion et perspectives

L'optimisation du profil de vitesse *ne permet pas de diminuer significativement* la dépense énergétique sur un tour, car elle est due essentiellement à des pertes mécaniques (aérodynamiques en particulier)

Par contre, le **dimensionnement** du moteur électrique est **fortement impacté** : la puissance/couple crête nécessaire est divisé par 2 !

Pour la suite je trouverai bon :

- d'améliorer l'algorithme d'optimisation qui donne un profil de vitesse « bruité »
- de mieux caractériser les pertes Joules dans le moteur (et en ajoutant les autres pertes électrique : convertisseur électronique & co.)

Pierre Haessig
20 décembre 2011 – Rennes

Joyeuses Fêtes de fin d'année !