Énergie utile au déplacement d'une voiture

HKW-aero Jeune Entreprise Innovante

www.HKW-aero.fr

© Michel Kieffer 2008-2017

Indice M1 le 4.9.2017

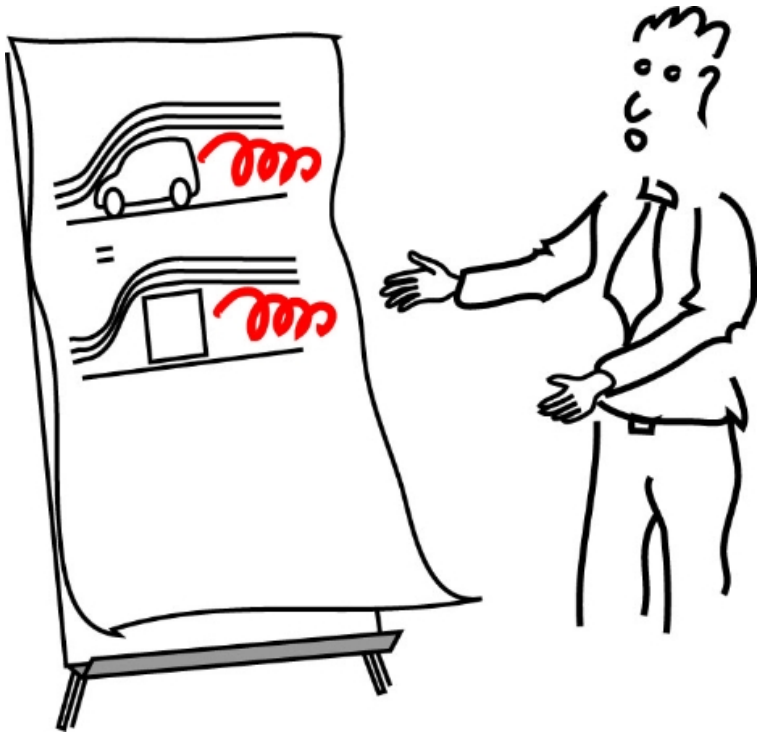
Contributeur : Thomas Frévillier

L’objectif de ce document est de déterminer l’énergie utile (Eu) au déplacement d’une voiture.

A quoi sert-il de connaître l’énergie utile ?

© Michel Kieffer 2008-2017

D'une part l'énergie utile (Eu) nous permet de déterminer le rendement d'un véhicule, d'autre part l'analyse de l'Eu nous permet d'identifier les « causes » qui entraînent une consommation d'énergie. Nous pouvons alors agir sur ces « causes »…



© Michel Kieffer 2008-2017

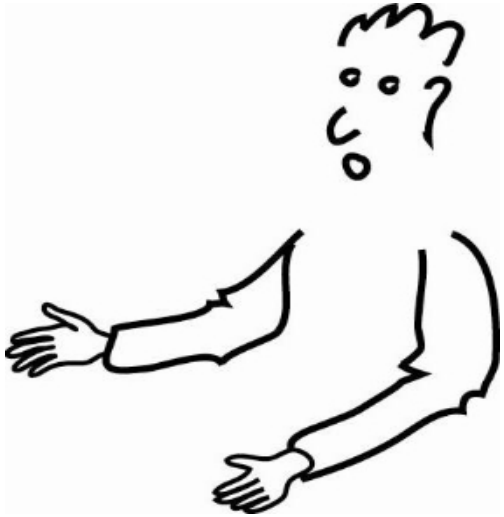
…c'est à ce prix que nous pouvons réduire de manière drastique les puissances nécessaires, donc les consommations de nos véhicules !

© Michel Kieffer 2008-2017

De plus, connaître l'énergie utile (Eu) au déplacement est la clé pour déterminer le rendement d'une voiture, et ce, quel que soit son mode de propulsion (thermique, électrique…) !

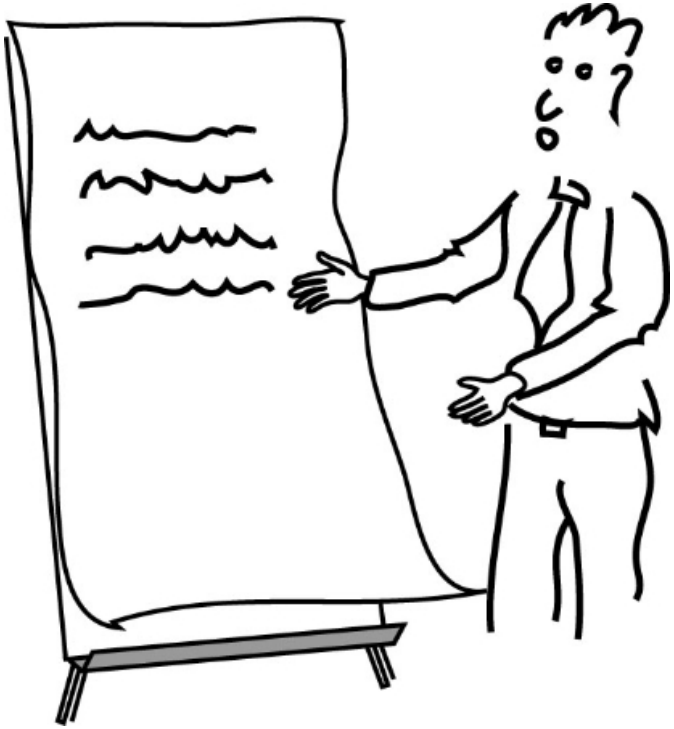
© Michel Kieffer 2008-2017

Comment déterminer Eu ?



Eu dépend d'une foule de paramètres liés au parcours et aux caractéristiques du véhicule.

© Michel Kieffer 2008-2017



Les paramètres liés au véhicule sont facile à obtenir, ce sont des données constructeurs : S.Cx, masse, coefficient de résistance au roulement…

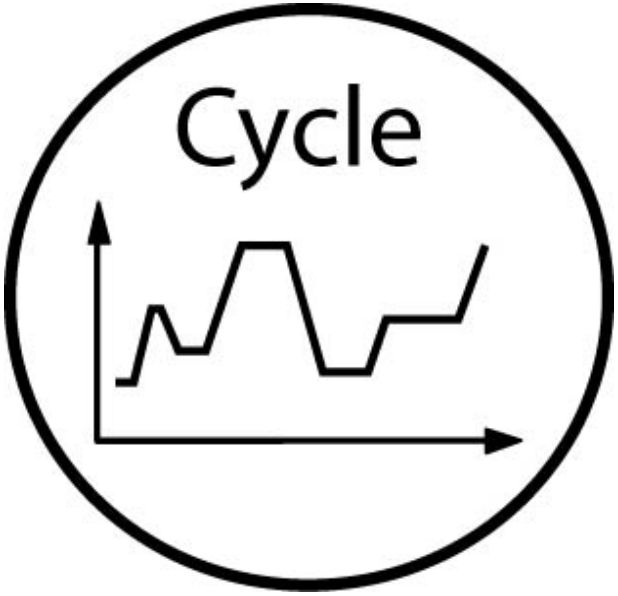
© Michel Kieffer 2008-2017

Les paramètres liés au parcours sont : les accélérations (valeurs, durées, nombres…) ; les vitesses (valeurs, durées, nombres…) etc.

Ces paramètres sont plus difficiles à obtenir parce qu'ils varient en permanence en fonction du parcours du véhicule et de son usage.

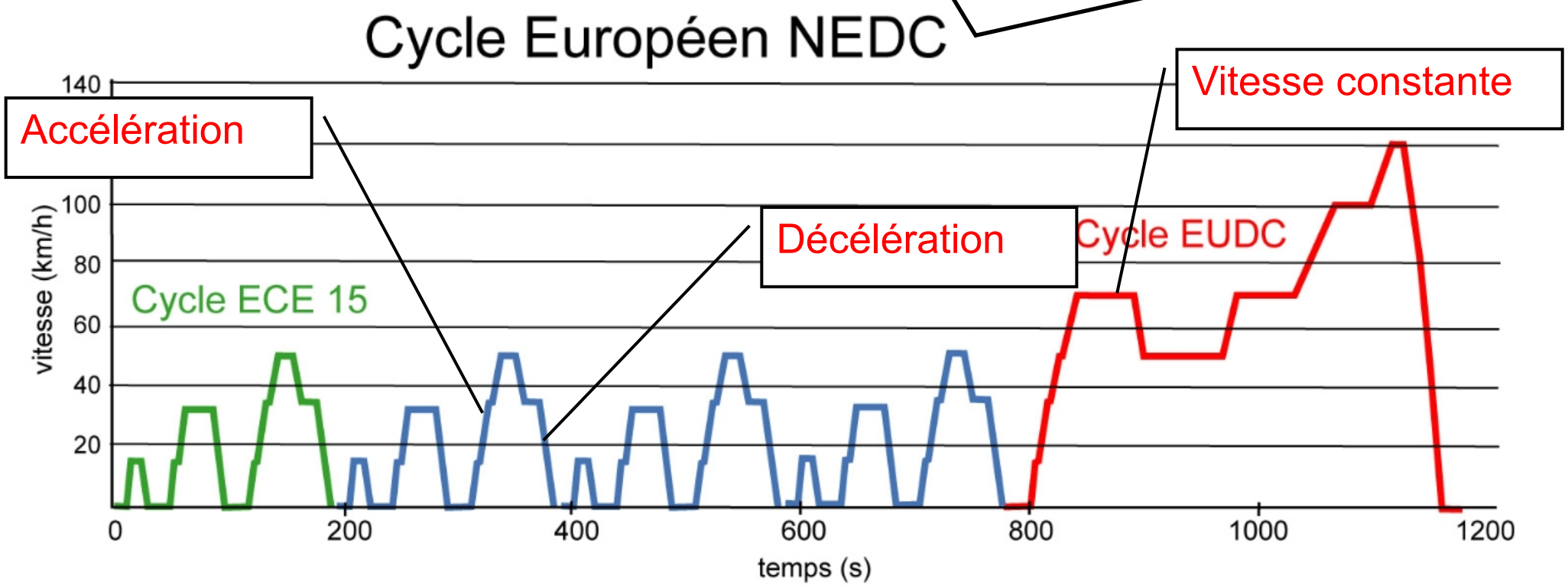
© Michel Kieffer 2008-2017

C'est-à-dire qu'il faut faire référence à un parcours type connu et formalisé, auquel font référence les constructeurs pour déterminer les consommations (= énergie consommée Ec).



© Michel Kieffer 2008-2017

Prenons par exemple le cycle Européen NEDC.*



4 x cycle ECE 15 + 1 x cycle EUDC = cycle NEDC (ou MVEG)

Partie urbaine : 4 x (195s ; 1013 m) Partie extra urbaine :

Ensemble : 1180 s ; 11007 m
NEDC = New European Driving Cycle
MVEG = Motor Vehicle Emission Group

* Autre cycle utilisable : WLTC classe 3. Toutefois, le résultat final sera proche quel que soit le cycle retenu.

© Michel Kieffer 2008-2017

$$\mathrm{Pu}=\frac{1}{2}\rho.v^{3}.S.\mathrm{Cx}+\mathrm{Cr}.m.g.\cos\alpha.v+m.\gamma.v+m.g.\sin\alpha.v$$

Pug (puissance utile accélérations)

Pum (puissance utile montées), le cycle Européen page précédente ne comprend pas de montées, donc ce terme = 0

© Michel Kieffer 2008-2017

Ceci nous donne :

Pua (aérodynamique)
- ρ = masse volumique air (kg/m3)
- v = vitesse (m/s)
- S = surface frontale (m2)
- Cx = coef efficacité aérodynamique

$$\mathrm{Pu} = \frac{1}{2}\rho . v^3 . S . \mathrm{Cx} + \mathrm{Cr} . m . g . v + m . \gamma . v$$

Pur (roulement)
- Cr = coef résistance au roulement
- m = masse (kg)
- g = accélération terrestre (m/s2)
- v = vitesse (m/s)

Pug (accélérations)
- m = masse (kg)
- γ = accélération (m/s²)
- v = vitesse (m/s)

© Michel Kieffer 2008-2017

Sachant que Eu = Pu.t, il nous faut « intégrer » cette fonction avec la variable temps (t) :

$$Eu = \int \frac{1}{2} \rho . v^3 . S . \mathrm{Cx}\, dt + \int \mathrm{Cr} . m . g . v\, dt + \int m . \gamma . v\, dt$$

© Michel Kieffer 2008-2017

…et v est, soit variable v=f(t), soit constante (cst) ⇒
Eu = Eu $_{v=f(t)}$ + Eu $_{v\ cst}$, soit :

$$Eu = \frac{1}{2}\rho.S.\mathrm{Cx}\int_{tn1}^{tn2} v_{v=f(t)}^{3}\,dt + \mathrm{Cr}.m.g\int_{tn1}^{tn2} v_{v=f(t)}\,dt + m.\gamma_n\int_{tn1}^{tn2} v_{v=f(t)}\,dt$$

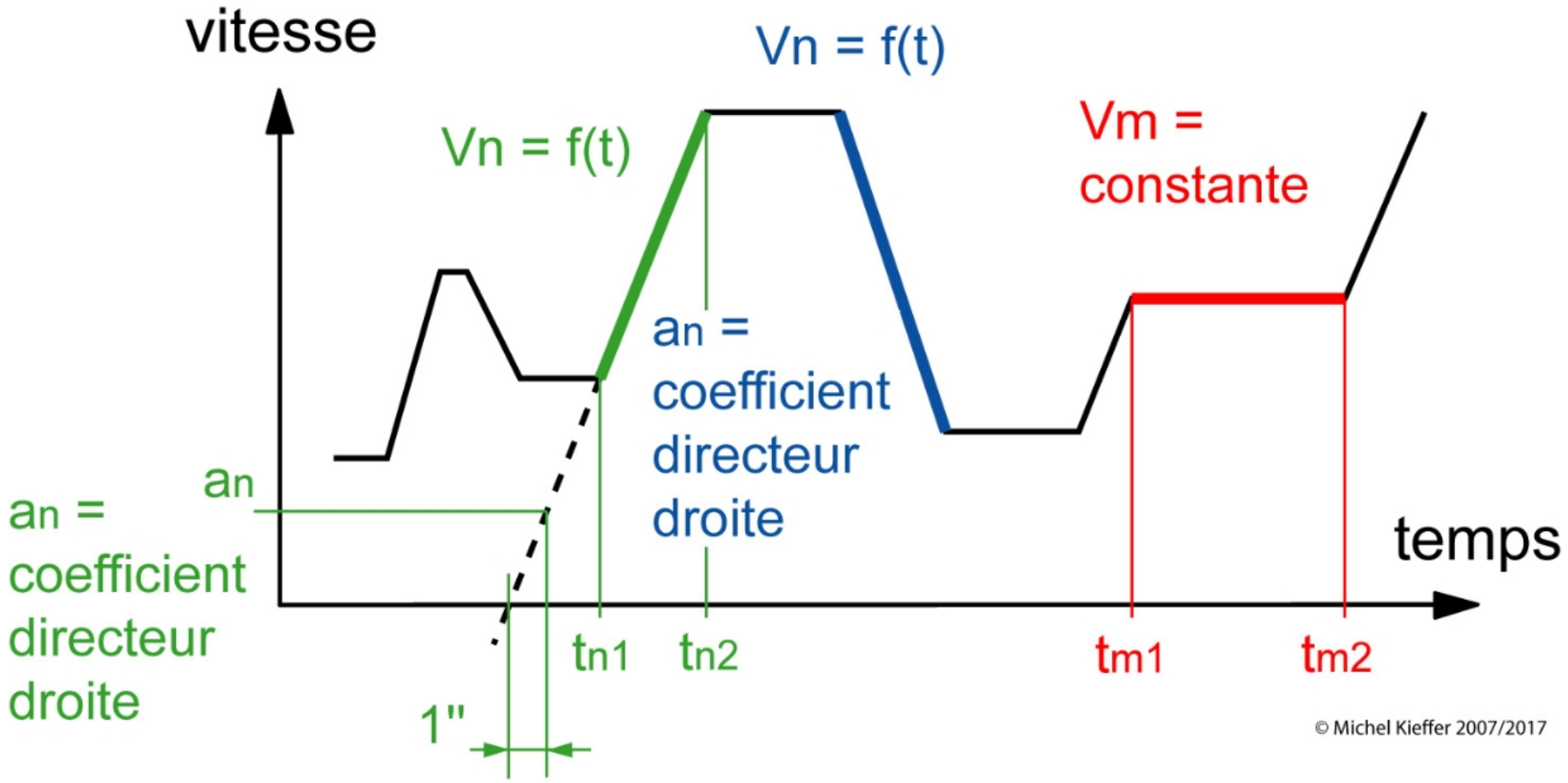
¿

$$+\ \frac{1}{2}\rho.S.\mathrm{Cx}.v_{cst}^{3}\int_{tm1}^{tm2} dt + \mathrm{Cr}.m.g.v_{cst}\int_{tm1}^{tm2} dt + m.\gamma.v_{cst}\int_{tm1}^{tm2} dt$$

V constante ⇒ γ = 0 ⇒ ce terme est nul

© Michel Kieffer 2008-2017

…ramenons ceci à notre cycle Européen :



© Michel Kieffer 2008-2017

…et nous avons : n « accélérations » ou « décélérations » (la vitesse étant alors variable) et m « vitesses constantes » :

$$Eu = \sum_{1}^{n}\left[\frac{1}{2}\rho.S.\mathrm{Cx}\int_{tn1}^{tn2} v^{3}_{v=f(t)}\,dt + \mathrm{Cr}.m.g\int_{tn1}^{tn2} v_{v=f(t)}\,dt + m.\gamma_{n}\int_{tn1}^{tn2} v_{v=f(t)}\,dt\right]$$

$$+ \sum_{1}^{m}\left[\frac{1}{2}\rho.S.\mathrm{Cx}.v^{3}_{cst}\int_{tm1}^{tm2} dt + \mathrm{Cr}.m.g.v_{cst}\int_{tm1}^{tm2} dt\right]$$

© Michel Kieffer 2008-2017

…et, pour $v_n=f(t)$, $v_n=a_n.t$ (équation d'une droite) avec a_n = coefficient directeur de la droite n :

$$Eu=$$

$$\sum_{1}^{n}\left[\frac{1}{2}\rho.S.\mathrm{Cx}\int_{tn1}^{tn2}(a_n.t_n)^3dt+\mathrm{Cr}.m.g\int_{tn1}^{tn2}(a_n.t_n)dt+m.\gamma_n\int_{tn1}^{tn2}(a_n.t_n)dt\right]$$

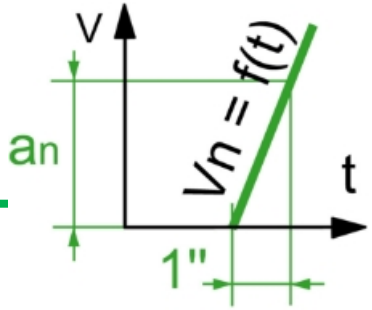
$$+$$

$$\sum_{1}^{m}\left[\frac{1}{2}\rho.S.\mathrm{Cx}.v_{cst}^{3}\int_{tm1}^{tm2}dt+\mathrm{Cr}.m.g.v_{cst}\int_{tm1}^{tm2}dt\right]$$

Reste à déterminer γ_n

© Michel Kieffer 2008-2017

$v_n = \gamma_n . t_{\gamma n} \Leftrightarrow \gamma_n = v_n / t_{\gamma n} = a_n / 1''$ avec a_n = coefficient directeur de la droite v_n :



an = coefficient directeur droite

$$Eu = \sum_{1}^{n}\left[\frac{1}{2}\rho . S . \mathrm{Cx}\int_{tn1}^{tn2}\left(a_n . t_n\right)^3 dt + \mathrm{Cr} . m . g\int_{tn1}^{tn2}\left(a_n . t_n\right) dt + m . a_n\int_{tn1}^{tn2}\left(a_n . t_n\right) dt\right]$$

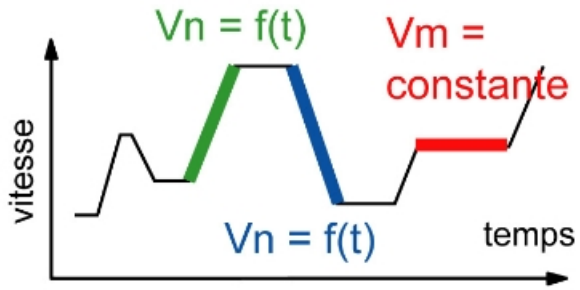
$$+ \sum_{1}^{m}\left[\frac{1}{2}\rho . S . \mathrm{Cx} . v_{cst}^3\int_{tm1}^{tm2} dt + \mathrm{Cr} . m . g . v_{cst}\int_{tm1}^{tm2} dt\right]$$

© Michel Kieffer 2008-2017

Séparons les accélérations et les décélérations et nous pouvons faire l'hypothèse suivante :

(Eua + Eur) *accélérations* = (Eua + Eur) *décélérations* :

Hypothèse : les deux termes ci-dessous sont identiques :



$$Eu = \sum_{1}^{m}\left[\frac{1}{2}\rho.S.Cx.v_{cst}^{3}\int_{tm1}^{tm2}dt + Cr.m.g.v_{cst}\int_{tm1}^{tm2}dt\right]$$

vitesses constantes
$\gamma = 0$

$$+\sum_{1}^{n}\left[\frac{1}{2}\rho.S.Cx\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}^{3}\,dt + Cr.m.g\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt + m.\gamma_n\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt\right]$$

Accélérations :
vitesses variables
γ = constante

$$+\sum_{1}^{n}\left[\frac{1}{2}\rho.S.Cx\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}^{3}\,dt + Cr.m.g\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt + m.\gamma_n\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt\right]$$

Décélérations :
vitesses variables
γ = constante

Energie pour vaincre la traînée aérodynamique (Eua)

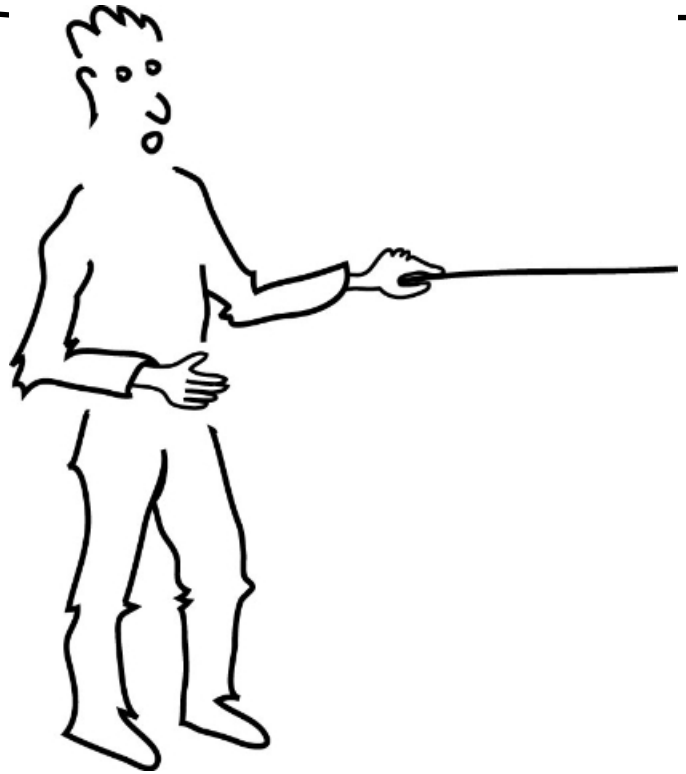
Energie nécessaire pour vaincre la traînée de roulement (Eur)

Energie nécessaire pour accéler (Eug)

© Michel Kieffer 2007/2017

© Michel Kieffer 2008-2017

Mais ceci n'est pas tout, lorsque le conducteur lève le pied, c'est l'énergie cinétique qui fait avancer le véhicule et non pas le moteur…
La consommation du véhicule est donc nulle dans ce contexte.

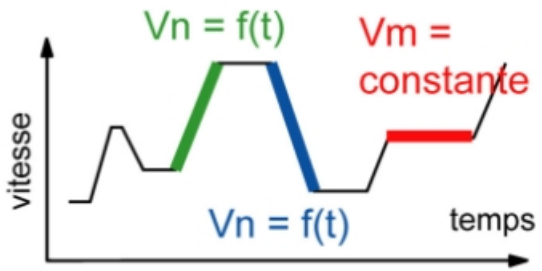


© Michel Kieffer 2008-2017

Ainsi, le terme Eug = 0 lors des décélérations :

Détermination de l'énergie utile au déplacement (Eu) :

L'intégration de la fonction puissance utile (Pu) en fonction de la variable temps nous donne la fonction énergie utile (Eu) :



$$Eu = \sum_{1}^{m}\left[\frac{1}{2}\rho.S.Cx.v_{cst}^{3}\int_{tm1}^{tm2}dt + Cr.m.g.v_{cst}\int_{tm1}^{tm2}dt\right]$$

vitesses constantes
$\gamma = 0$

$$+\sum_{1}^{n}\left[\frac{1}{2}\rho.S.Cx\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}^{3}\,dt + Cr.m.g\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt + m.\gamma_{n}\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt\right]$$

Accélérations :
vitesses variables
γ = constante

$$+\sum_{1}^{n}\left[\underbrace{\frac{1}{2}\rho.S.Cx\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}^{3}\,dt}_{\text{Energie pour vaincre la traînée aérodynamique (Eua)}} + \underbrace{Cr.m.g\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt}_{\text{Energie nécessaire pour vaincre la traînée de roulement (Eur)}} + \underbrace{\cancel{m.\gamma_{n}\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt}}_{\text{Energie nécessaire pour accéler (Eug)}}\right]$$

Décélérations :
vitesses variables
γ = constante

Eug = 0 lors des décélérations

© Michel Kieffer 2007/2017

© Michel Kieffer 2008-2017

Mais surtout, sans aucune technologie particulière, un véhicule quel qu'il soit récupère de l'énergie cinétique lors des décélérations. Pratiquement, nous avons un transfert d'énergie cinétique (Eug totale) pour vaincre la traînée aérodynamique et la traînée de roulement…

$$Eu = \sum_{1}^{m}\left[\frac{1}{2}\rho.S.Cx.v_{cst}^{3}\int_{tm1}^{tm2}dt + Cr.m.g.v_{cst}\int_{tm1}^{tm2}dt\right]$$

vitesses constantes
$\gamma = 0$

$$+\sum_{1}^{n}\left[\frac{1}{2}\rho.S.Cx\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}^{3}\,dt + Cr.m.g\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt + m.\gamma_{n}\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt\right]$$

Accélérations :
vitesses variables
γ = constante

Eug totale

$$+\sum_{1}^{n}\left[\underbrace{\frac{1}{2}\rho.S.Cx\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}^{3}\,dt}_{Eua} + \underbrace{Cr.m.g\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt}_{Eur} + \underbrace{m.\gamma_{n}\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt}_{Eug}\right]$$

Décélérations :
vitesses variables
γ = constante

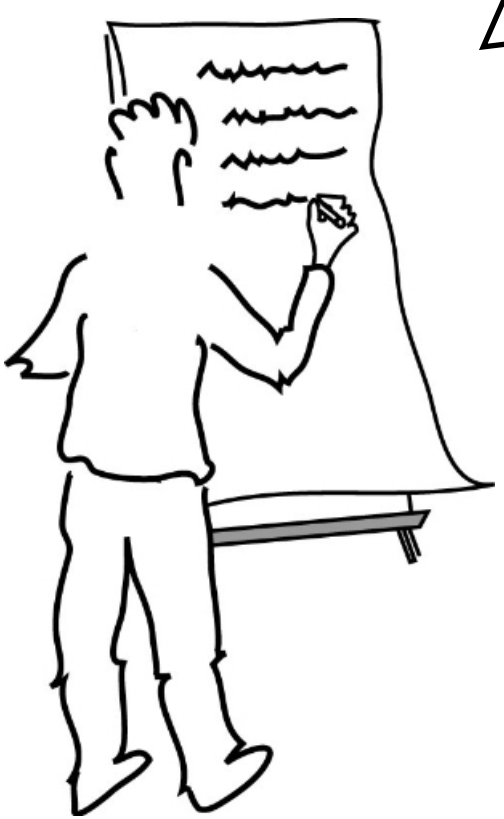
Eug = 0
lors
décélérations

© Michel Kieffer 2007/2017

© Michel Kieffer 2008-2017

Nous pouvons dire que l'énergie cinétique récupérée (Ecr) est égale à Eua + Eur pendant la décélération. Ce qui nous donne :

$$Ecr = Eua_{\text{décélération}} + Eur_{\text{décélération}}$$



Et nous obtenons …/…

© Michel Kieffer 2008-2017

$$Eu = \sum_{1}^{m}\left[\frac{1}{2}\rho.S.Cx.v_{cst}^{3}\int_{tm1}^{tm2}dt + Cr.m.g.v_{cst}\int_{tm1}^{tm2}dt\right]$$

vitesses constantes
$\gamma = 0$

$$+\sum_{1}^{n}\left[\frac{1}{2}\rho.S.Cx\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(}^{3} \quad + m.\gamma_{n}\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt\right]$$

Eug totale

Accélérations :
vitesses variables
γ = constante

$$+\sum_{1}^{n}\left[\underbrace{\frac{1}{2}\rho.S.Cx\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}^{3}\,dt}_{Eua} + \underbrace{Cr.m.g\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt}_{Eur} + \underbrace{\cancel{m.\gamma_{n}\int_{tn1}^{tn2}v_{v=f(t)}\,dt}}_{Eug}\right]$$

Eug = 0
lors
décélérations

Décélérations :
vitesses variables
γ = constante

Eug réelle = Eug totale - Ecr (Energie cinétique récupérée)

Ecr = Eua décélérations + Eur décélérations

© Michel Kieffer 2007/2017

© Michel Kieffer 2008-2017

Et nous obtenons en remplaçant $v_n=f(t)$ par $v_n=a_n.t$ et $\gamma_n = v_n / t_{\gamma n} = a_n$ tel que développé précédemment :

$$Eu = \sum_1^m \left[\frac{1}{2}\rho.S.Cx.v_{cst}^3 \left[t_m \right]_{tm1}^{tm2} + Cr.m.g.v_{cst} \left[t_m \right]_{tm1}^{tm2} \right]$$

vitesses constantes
$\gamma = 0$

$$+ \sum_1^n \left[\frac{1}{2}\rho.S.Cx.a_n^3 \left[\frac{t_n^4}{4} \right]_{tn1}^{tn2} + Cr.m.g.a_n \left[\frac{t_n^2}{2} \right]_{tn1}^{tn2} + m.a_n^2 \left[\frac{t_n^2}{2} \right]_{tn1}^{tn2} \right]$$

Eug totale

Accélérations :
vitesses variables
γ = constante

$$+ \sum_1^n \left[\frac{1}{2}\rho.S.Cx.a_n^3 \left[\frac{t_n^4}{4} \right]_{tn1}^{tn2} + Cr.m.g.a_n \left[\frac{t_n^2}{2} \right]_{tn1}^{tn2} + \cancel{m.a_n^2 \left[\frac{t_n^2}{2} \right]_{tn1}^{tn2}} \right]$$

Décélérations :
vitesses variables
γ = constante

Eug = 0
lors
décélérations

Eua Eur Eug

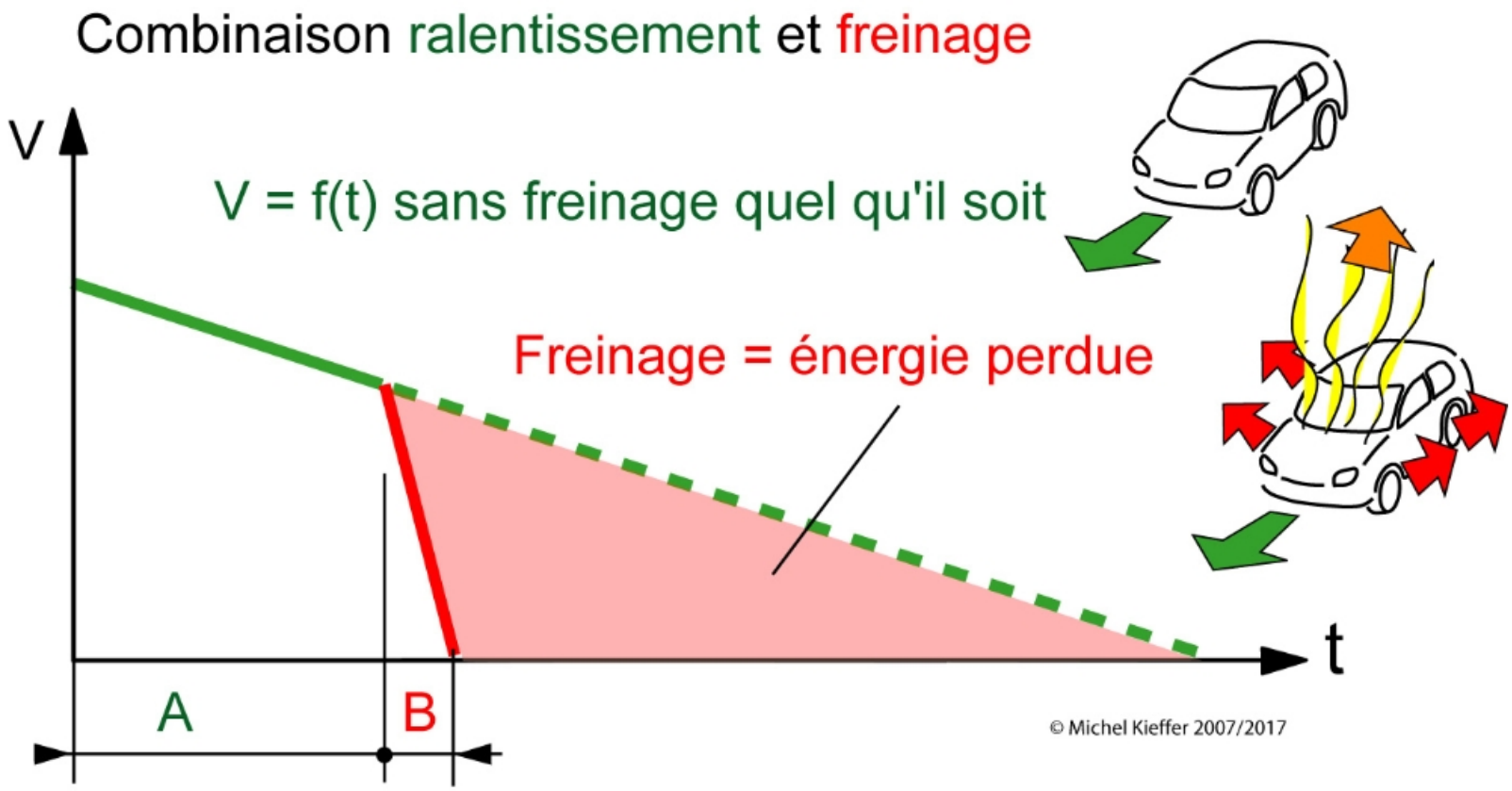
Eug réelle = Eug totale - Ecr (Energie cinétique récupérée)

Ecr = Eua décélérations + Eur décélérations

© Michel Kieffer 2007/2017

© Michel Kieffer 2008-2017

Nous faisons toutefois l'hypothèse que le moteur est débrayé lors des ralentissements et que la consommation au ralenti est négligeable (zone A ci-dessous) :



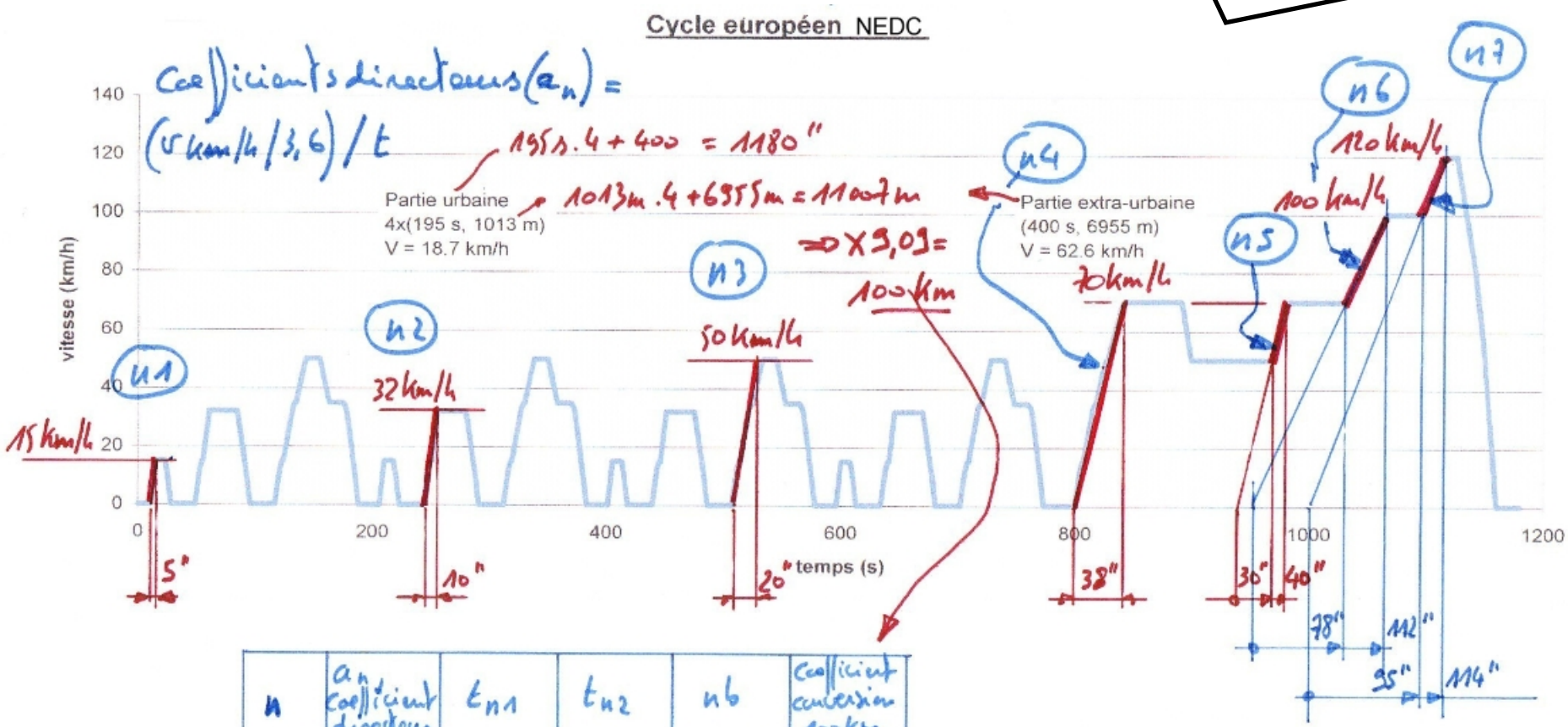
A = l'Ec est naturellement récupérée sans aucun dispositif particulier.
B = l'Ec est perdue dans le freinage.

© Michel Kieffer 2008-2017

Reste à « alimenter » cette fonction avec les données de notre cycle Européen.

© Michel Kieffer 2008-2017

Vitesses variables, $v_n = f(t)$:

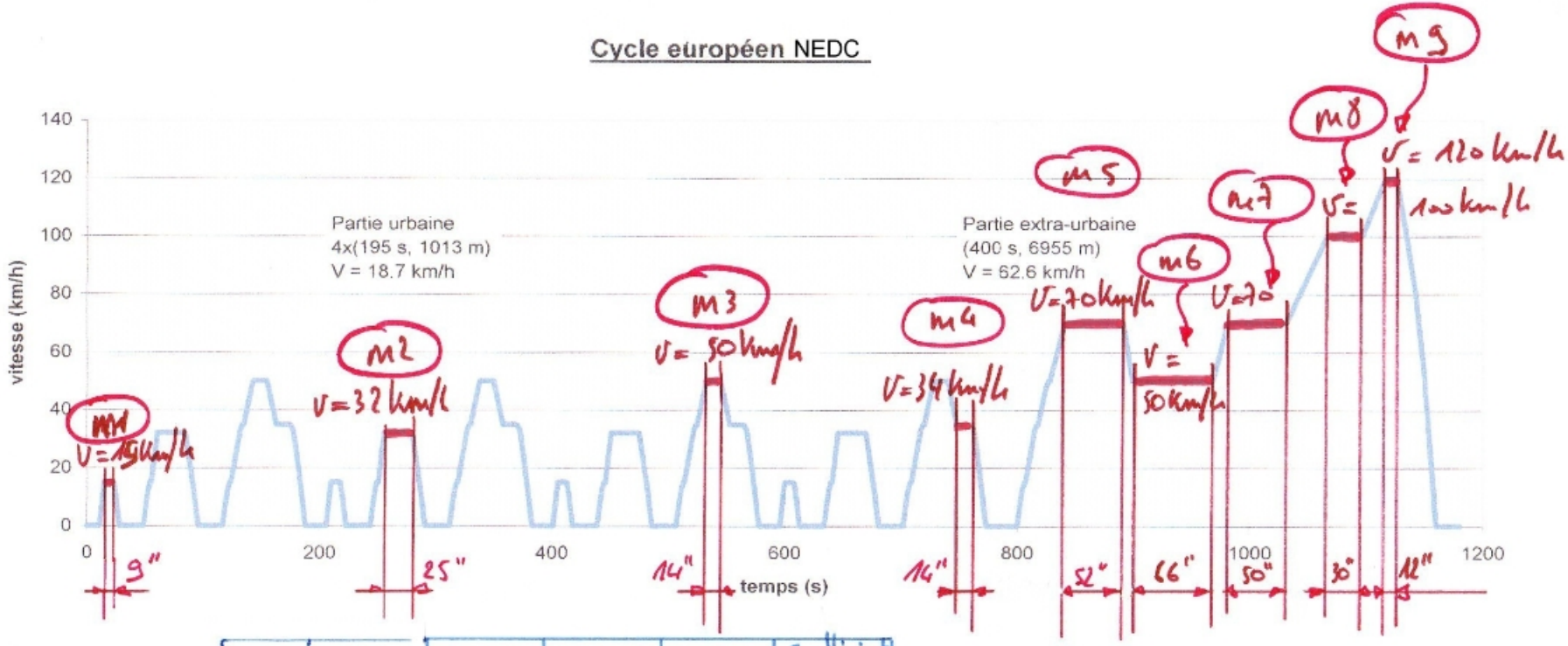


n	a_n coefficient directeur	t_{n1}	t_{n2}	nb	coefficient conversion 100 km
1	0,83	0	5"	x4	9,09
2	0,89	0	10	x4	
3	0,69	0	20	x4	
4	0,51	0	38	x1	
5	0,49	30	40	x1	
6	0,25	78	112	x1	
7	0,29	95	114	x1	

Hypothèse simplificatrice :
droites descendantes ⇒ P = ∅

© Michel Kieffer 2008-2017

Vitesses constantes, v_m = cst :



m	v_m	t_{m1}	t_{m2}	nb	Coefficient conversion 100km
1	15 km/h	∅	9"	x4	x9,09 *
2	32		25	x4	
3	50		14	x4	
4	34		14	x4	
5	70		52	x1	
6	50		66	x1	
7	70		50	x1	
8	100		30	x1	
9	120		12	x1	

* voir page précédente

© Michel Kieffer 2008-2017

Application numérique pour les accélérations :

Segments de droites à **vitesses variables** v = f(t) :

n	an	tn1	tn2	nb	coef cent	ro air à 15°C	Eua/S.Cx	g	Eur/Cr.m	Eug/m
1	0,83	0	5	4	9,09	1,22	1 982	9,81	3 701	313
2	0,89	0	10	4	9,09	1,22	39 090	9,81	15 873	1 440
3	0,69	0	20	4	9,09	1,22	291 448	9,81	49 223	3 462
4	0,51	0	38	1	9,09	1,22	383 423	9,81	32 835	1 707
5	0,49	30	40	1	9,09	1,22	285 404	9,81	15 293	764
6	0,25	78	112	1	9,09	1,22	2 606 469	9,81	72 007	1 835
7	0,29	95	114	1	9,09	1,22	2 956 410	9,81	51 345	1 518
						sommes	**6 564 225**		**240 278**	**11 039**

Les énergies utiles, Eua – Eur – Eug, sont divisées par, respectivement, les paramètres S.Cx – Cr.m - m

© Michel Kieffer 2008-2017

Et en rajoutant les décélérations :

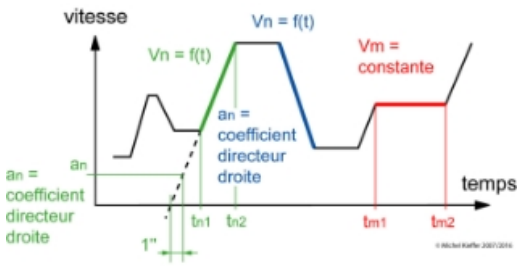
Rappel de l'hypothèse (1) :

Eua décélération = Eua accélérations => x 2 ci-dessous

Eur décélération = Eur accélérations => x 2 ci-dessous

Eug décélération = 0 => x 1 ci-dessous

=> sur la base du tableau page précédentes :



n	an	tn1	tn2	nb	coef cent	ro air à 15°C	Eua/S.Cx	g	Eur/Cr.m	Eug/m
1	0,83	0	5	4	9,09	1,22	1 982	9,81	3 701	313
2	0,89	0	10	4	9,09	1,22	39 090	9,81	15 873	1 440
3	0,69	0	20	4	9,09	1,22	291 448	9,81	49 223	3 462
4	0,51	0	38	1	9,09	1,22	383 423	9,81	32 835	1 707
5	0,49	30	40	1	9,09	1,22	285 404	9,81	15 293	764
6	0,25	78	112	1	9,09	1,22	2 606 469	9,81	72 007	1 835
7	0,29	95	114	1	9,09	1,22	2 956 410	9,81	51 345	1 518
						sommes	**6 564 225**		**240 278**	**11 039**
							13 128 450		**480 555**	**11 039**

© Michel Kieffer 2008-2017

Segments de droites à **vitesses constantes** :

m	Vm Km/h	tm1	tm2	nb	coef cent	Vm m/s	ro air à 15°C	Eua/S.Cx	g	Eur/Cr.m	Eug/m
1	15	0	9	4	9,09	4,17	1,22	14 440	9,81	13 376	0
2	32	0	25	4	9,09	8,89	1,22	389 436	9,81	79 265	0
3	50	0	14	4	9,09	13,89	1,22	831 925	9,81	69 357	0
4	34	0	14	4	9,09	9,44	1,22	261 584	9,81	47 163	0
5	70	0	52	1	9,09	19,44	1,22	2 119 745	9,81	90 164	0
6	50	0	66	1	9,09	13,89	1,22	980 483	9,81	81 742	0
7	70	0	50	1	9,09	19,44	1,22	2 038 217	9,81	86 696	0
8	100	0	30	1	9,09	27,78	1,22	3 565 394	9,81	74 311	0
9	120	0	12	1	9,09	33,33	1,22	2 464 400	9,81	35 669	0
							sommes	**12 665 624**		**577 741**	**0**

Total Eu (les deux tableaux) :

	Σ Eua/S.Cx	Σ Eur/Cr.m	Σ Eug/m
	25 794 074	**1 058 294**	**11 039**

Ces 3 termes se retrouvent dans la fonction page suivante.

© Michel Kieffer 2008-2017

Sur cycle NEDC :

Eua (énergie utile aérodynamique)
S = surface frontale [m²]
Cx = coef efficacité aérodynamique

Eu (MJ au cent) = S.Cx.25,8 + Cr.m.1,06 + (m.0,011 - Ecr)

Eur (énergie utile roulement)
Cr = coef résistance au roulement
m = masse [kg]

Eug (énergie utile accélérations = énergie cinétique)

Ecr = S.Cx.6,6 + Cr.m.0,24 (Ecr = Energie cinétique récupérée lors des décélérations, le moteur n'étant pas sollicité)

Ecr correspond à l'Ec récupérée pour vaincre la traînée aérodynamique (Eua) et la traînée de roulement (Eur) lors des ralentissements. **Ecr est récupérée sans aucun système particulier,** le conducteur se contentant de "lever le pied".

<=>

Eu (MJ au cent) = S.Cx.19,2 + m.(Cr.0,82 + 0,011)

Sur cycle WLTC les trois coefficients 19,2 ; 0,82 ; 0,011 ci-dessus changent légèrement.

© Michel Kieffer 2007/2017

© Michel Kieffer 2008-2017

Mais aussi, si nous anticipons les ralentissements afin de ne jamais freiner, Eug devient nulle !

Sur cycle NEDC :

Eu (MJ au cent) = S.Cx.25,8 + Cr.m.1,06 + (m.0,011 - Ecr)

Si nous anticipons les ralentissements afin de ne jamais freiner, Ecr = m.0,011 => Eug (ou Ec) devient nulle.

Ecr est récupérée sans aucun système particulier, le conducteur se contentant de "lever le pied".

© Michel Kieffer 2007/2017

Ceci rappelle l'intérêt de « l'éco-conduite » qui consiste à récupérer le maximum d'énergie cinétique.

© Michel Kieffer 2008-2017

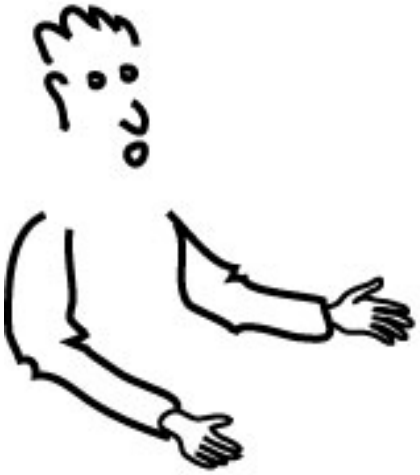
A ce stade, il est facile d'identifier les « causes » qui entraînent une consommation d'énergie…

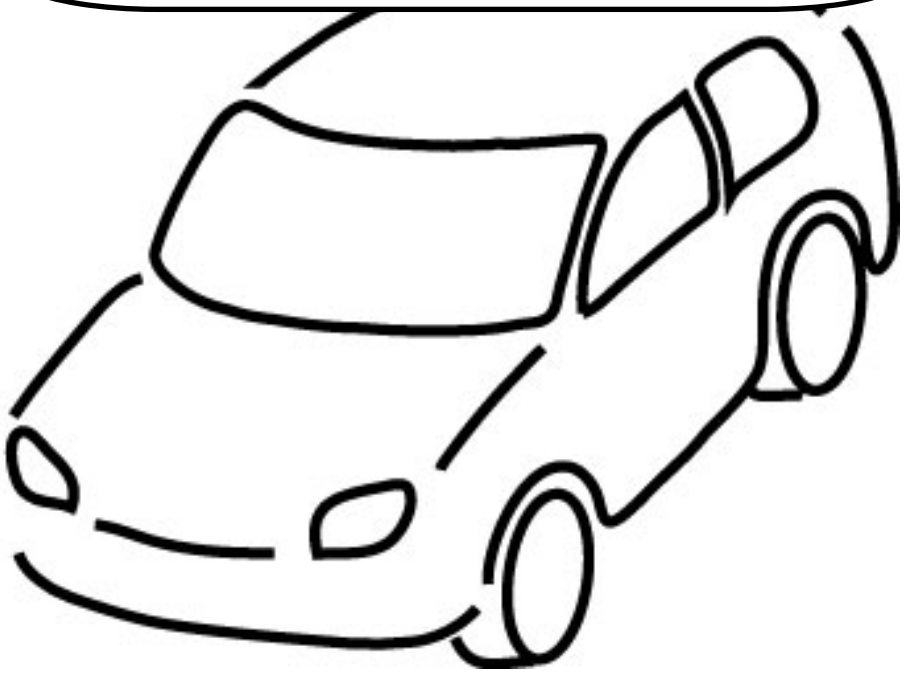
Est-ce l'aérodynamique, la masse, ou le roulement qui consomme le plus d'énergie ?

© Michel Kieffer 2008-2017

Réalisons une application numérique avec une voiture représentative de nos voitures actuelles.

Par exemple une « compacte diesel »…





© Michel Kieffer 2008-2017

S = surface projetée frontale = 2,2 m²
Cx = coefficient d'efficacité aérodynamique = 0,32
m = masse de référence = masse à vide 1390 kg (plein à 90% compris) + 100 kg de charge = 1490 kg*
Cr = coefficient de résistance au roulement = 0,012

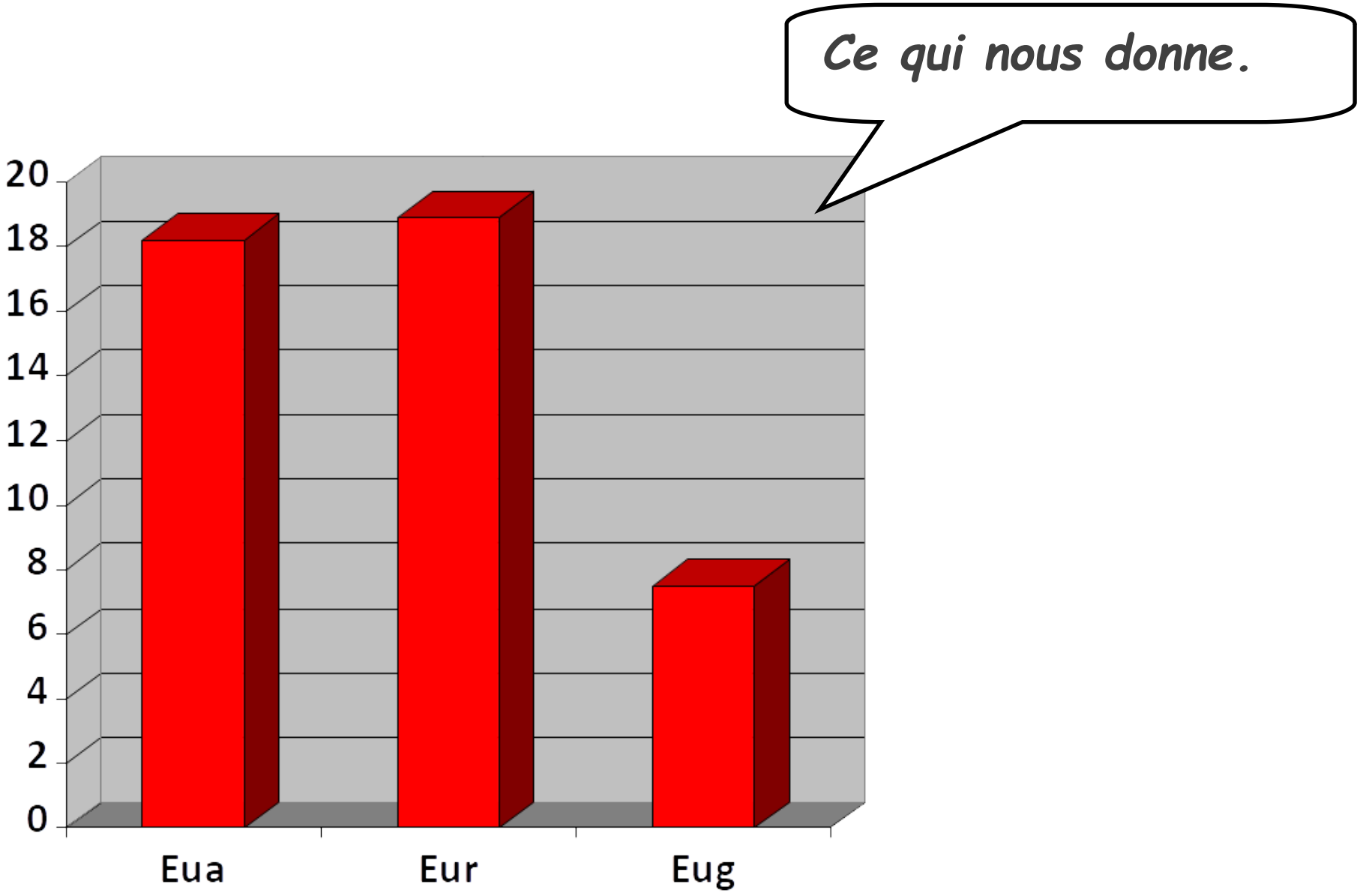
Eu cycle Européen NEDC :

Ecr = S.Cx.6,6 + Cr.m.0,24 = 4,6 + 4,3 = 8,9 MJ

Eu = S.Cx.25,8 + Cr.m.1,06 + (m.0,011 – Ecr) =
2,2m².0,32.25,8 + 0,012.1490kg.1,06 + (1490kg.0,011 – 8,9) =
18,2 MJ + 18,9 MJ + (16,4 – 8,9) MJ = 44,6 MJ au cent
Soit respectivement 41% + 42% + 17%

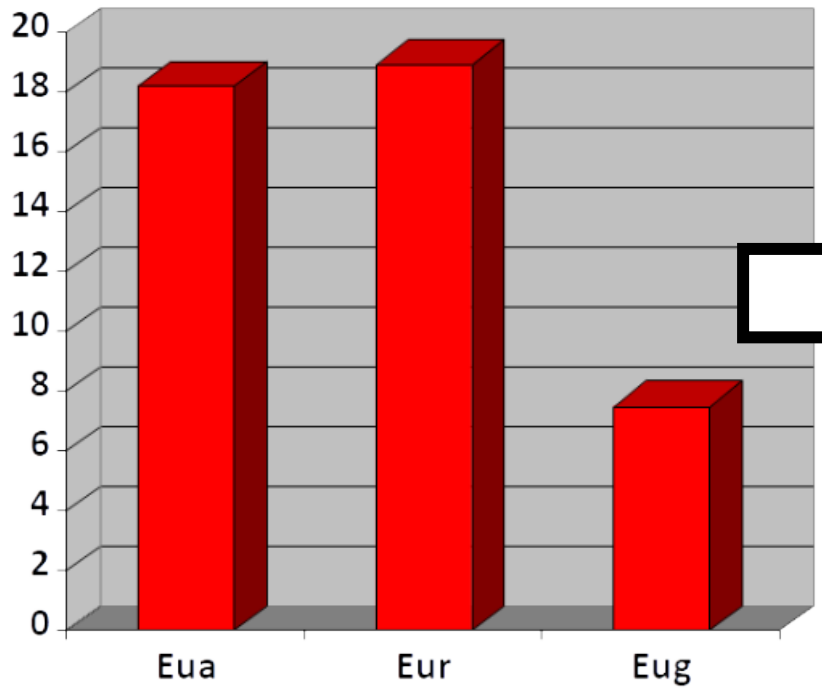
<u>A noter que 54% de l'Ec est récupérée, lors de décélérations, sans aucune</u>

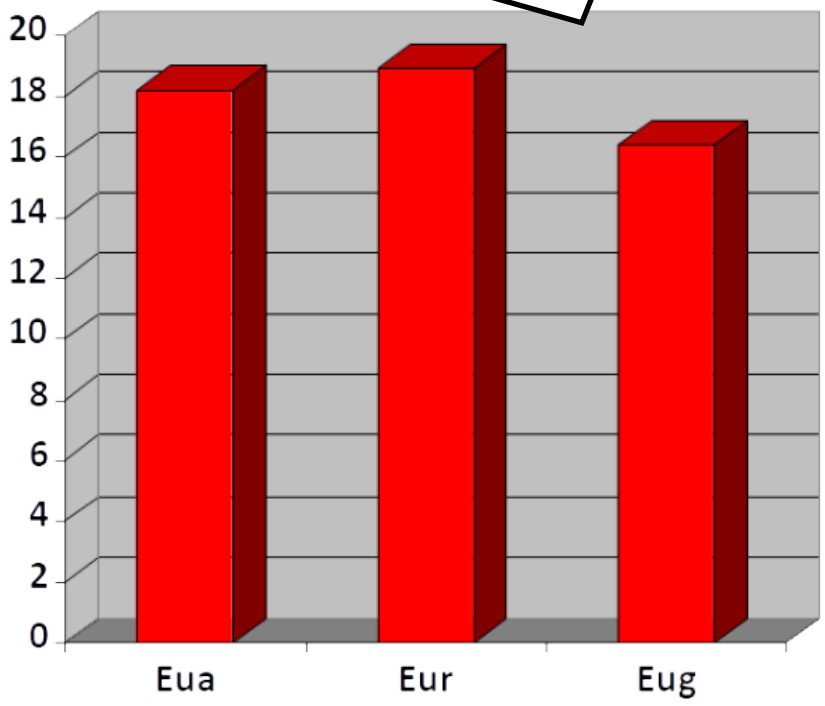
© Michel Kieffer 2008-2017



© Michel Kieffer 2008-2017

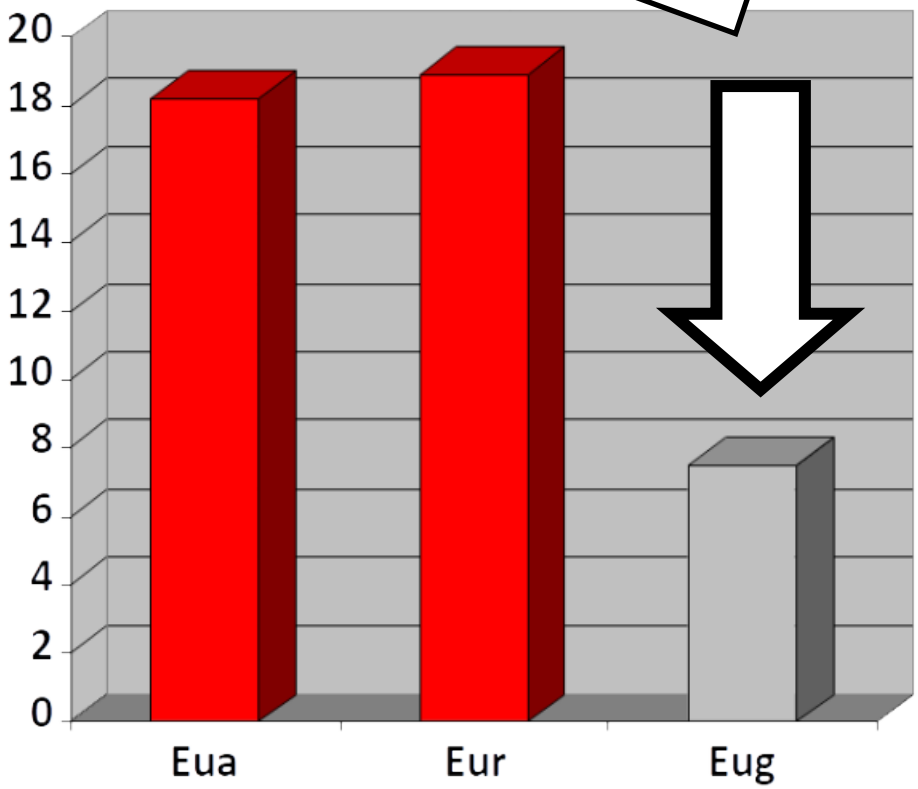
Mais attention, si nous ne tenons pas compte de l'énergie cinétique naturellement récupérée (Ecr), Eug devient prépondérante, ce qui ne correspond pas à la réalité puisque Ec a été en partie récupérée :





© Michel Kieffer 2008-2017

Et, tel que déjà dit, si nous anticipons les ralentissements afin de ne jamais freiner, Eug devient nulle !



Sur cycle NEDC :

Eu (MJ au cent) = S.Cx.25,8 + Cr.m.1,06 + (m.0,011 - Ecr)

Si nous anticipons les ralentissements afin de ne jamais freiner, Ecr = m.0,011 => Eug (ou Ec) devient nulle.

Ecr est récupérée sans aucun système particulier, le conducteur se contentant de "lever le pied".

© Michel Kieffer 2007/2017

© Michel Kieffer 2008-2017

Autre stratégie, allégeons notre véhicule sans toucher aux autres paramètres : m = 900 kg par exemple.

Eu cycle Européen NEDC :

Ecr = S.Cx.6,6 + Cr.m.0,24 = 4,6 + 2,6 = 7,2 MJ

Eu = S.Cx.25,8 + Cr.m.1,06 + (m.0,011 – Ecr) =
2,2m².0,32. 25,8 + 0,012.900kg.1,06 + (900.0,011 – 7,2) =
18,2 MJ + 11,4 + (9,9 – 7,2) = 32,3 MJ au cent
Soit respectivement 56% + 36% + 8%

© Michel Kieffer 2008-2017

Puis prenons les caractéristiques d'une RENAULT VESTA :*
S = 1,63m² ; Cx = 0,186 ; Cr = 0,012 (?) ; m = 473 kg
+30 kg de carburant + 100 kg de charge = 603 kg.

Eu cycle Européen NEDC :

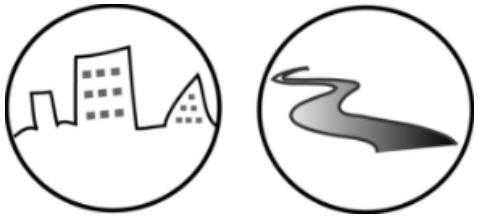
Ecr = S.Cx.6,6 + Cr.m.0,24 = 2,0 + 1,7 = 3,7 MJ

Eu = S.Cx.25,8 + Cr.m.1,06 + (m.0,011 – Ecr) =
1,63m².0,186. 25,8 + 0,012.603kg.1,06 + (603.0,011 – 3,7) =
7,8 MJ + 7,7 + (6,6 – 3,7) = 18,4 MJ au cent
Soit respectivement 42% + 42% + 16%

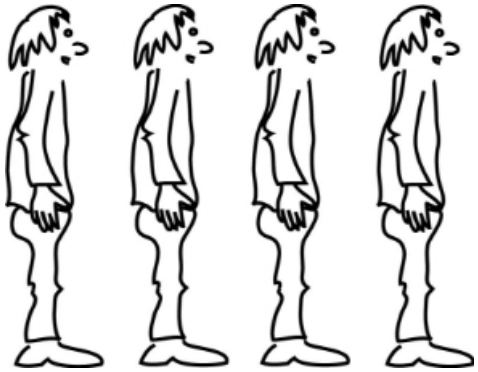
∗ Prototype RENAULT « ultra économique », autant en consommations qu'à l'achat, du milieu des années 80. CITROEN avait développé une voiture équivalente, la CITROEN ECO 2000. Voir les caractéristiques page suivante.

© Michel Kieffer 2008-2017

Les remarquables concepts thermiques quadriplaces : ***Citroën Eco2000*** et ***Renault Vesta*** :

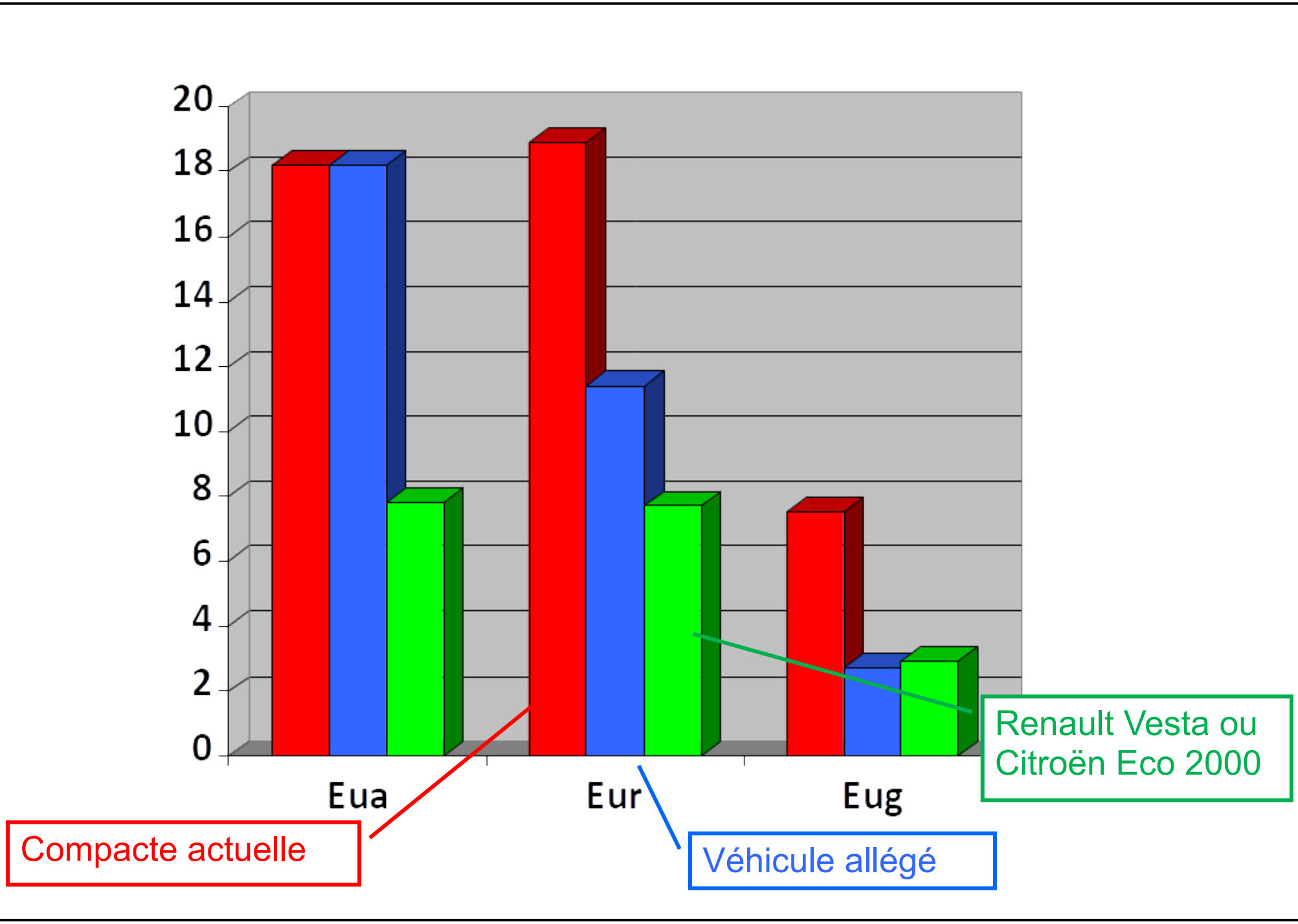


CITROEN ECO 2000 (1984) :	
Masse à vide	≈ 480 kg
Charge utile	≈ 400 kg
Cx	≈ 0,210
Surface frontale	≈ 1,52 m²
Vitesse max	≈ 140 km/h
Puissance	≈ 35 cv



RENAULT VESTA II (1987) :	
Masse à vide	≈ 470 kg
Charge utile	≈ 400 kg
Cx	≈ 0,186
Surface frontale	≈ 1,64 m²
Vitesse max	≈ 138 km/h
Puissance	≈ 27 cv

© Michel Kieffer 2008-2017



© Michel Kieffer 2008-2017

A technologie équivalente, retenons que l'énergie utile au déplacement, donc la consommation, diminue dans les proportions suivantes :

	Eu	Δ / compacte
Compacte actuelle	44,6 MJ	/
Véhicule allégé	32,3 MJ	-28%
Type RENAULT VESTA	18,4 MJ	-59%

© Michel Kieffer 2008-2017

A ce stade, il est encore possible de récupérer une partie de l'énergie cinétique lors des ralentissements.
Mais attention, l'énergie encore récupérable est de l'ordre de 17% pour une voiture actuelle (déduis l'Ec naturellement récupérée sans dispositif particulier). Et tout n'est pas récupérable, les rendements de récupération, de stockage et de restitution étant loin de 100%.
De plus, <u>il faut intégrer le coût énergétique lié au transport de la masse du système de récupération d'Ec</u>.
Masse à laquelle s'applique un « coefficient spirale »…

© Michel Kieffer 2008-2017

En conclusion, retenons que :
l'allégement et l'aérodynamique nous permettent de réduire les consommations de manière drastique, et ce, quel que soit le type de motorisation (thermique, électrique, hybride…) ;
tout véhicule récupère naturellement de l'énergie cinétique sans aucun dispositif particulier.

FIN

© Michel Kieffer 2008-2017