

Effort internes, contraintes... vers le dimensionnement

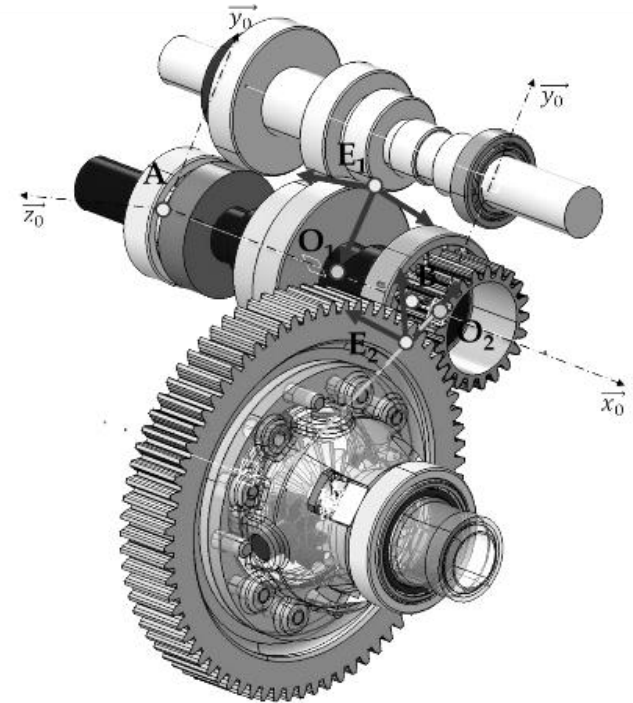
TD-9 – Calcul roulements BV

Problématiques du calcul des roulements

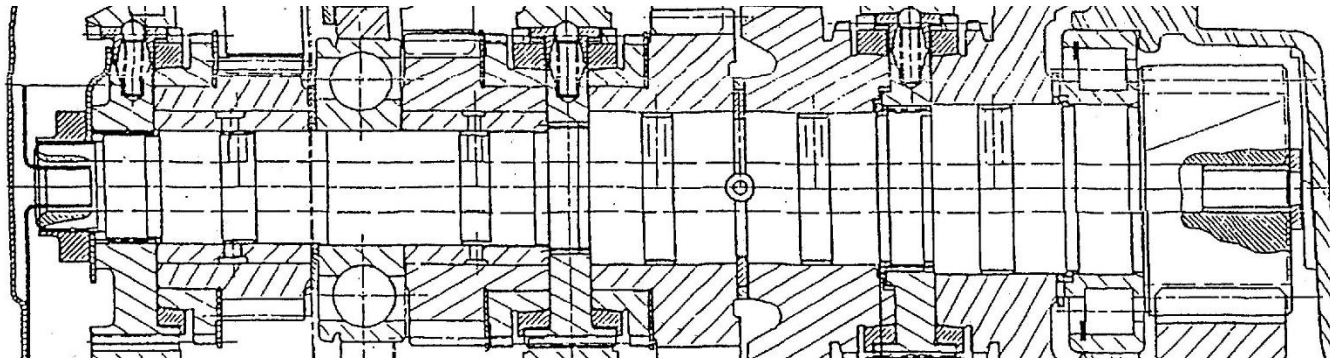
- Roulements, Architectures, Chargements connus
 - Calcul de la durée de vie
- Architectures, Chargements connus, Durée de vie imposée
 - Choix des roulements dans une Base de Données constructeur

Objectifs :

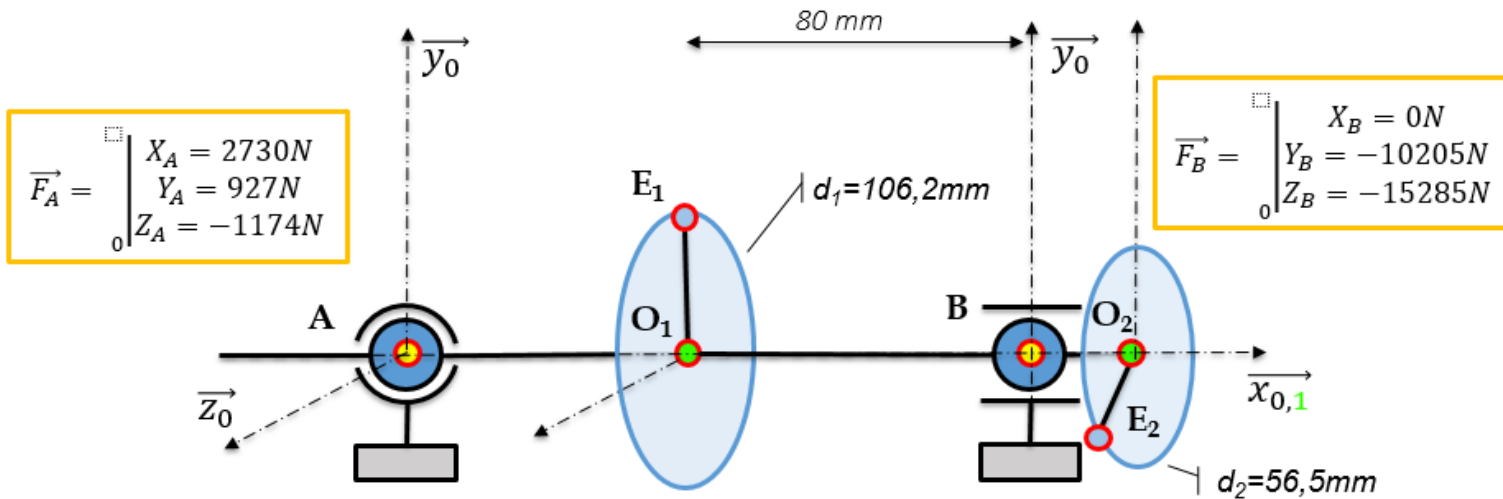
- Valider (ou non) le choix des roulements pour un niveau de charge
 - Calcul des efforts radiaux équivalents
 - Calcul de la durée de vie L10
 - Conclusion
- Calcul de la durée de vie avec différents niveaux de charge et différents régimes
 - Mise en équation « à la main »
 - Utilisation d'un environnement informatique (tableur)
 - Conclusion
- Utilisation d'outils en ligne (SKF)



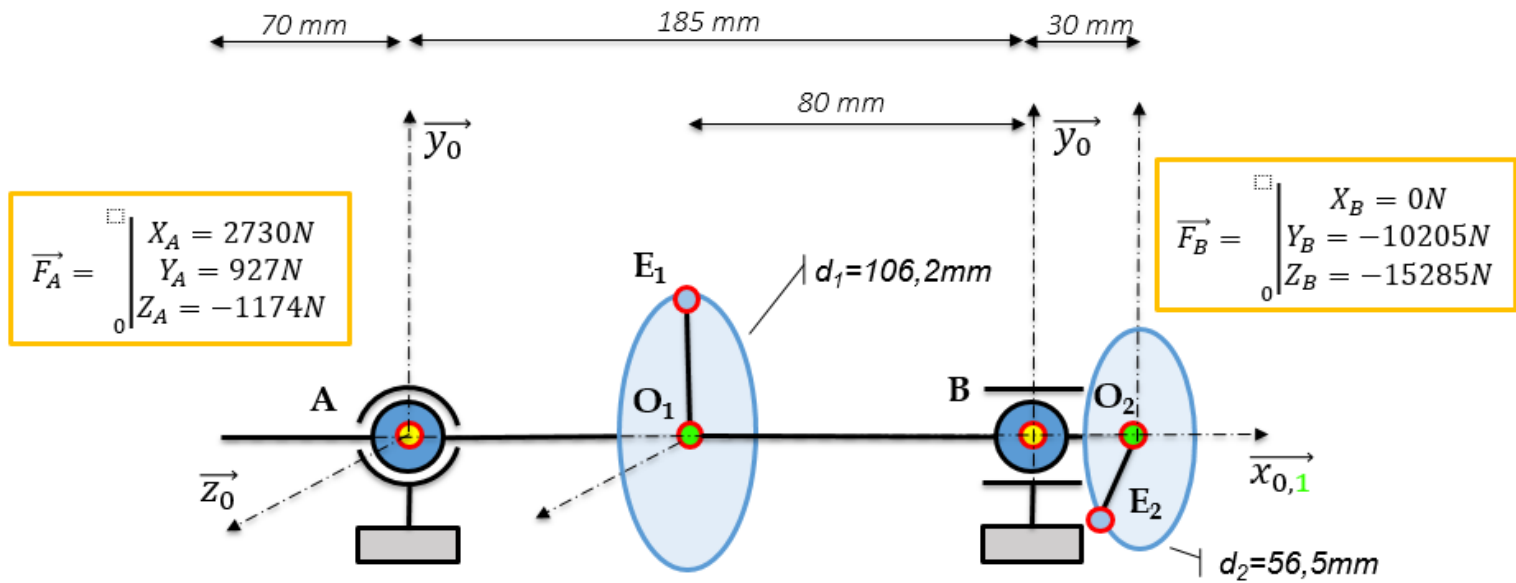
Analyse solution existante



70 mm 185 mm 30 mm



Calcul Durée de Vie L10



en A : 6306 fournisseur SKF
 d=30 ; D=72 ; B = 19 ;
 C=28100N ; C0=16000N

en B : N208 fournisseur SKF
 d=40 ; D=80 ; B = 18 ;
 C=62000N ; C0=53000N

Rappel roulements

Symbole	Type de roulement	Symbole	Type de roulement	Symbole	Type de roulement
60 X 62 X 63 XX 64 XX 160 XX 618 XX 619 XX 622 XX 623 XX	Roulement à billes à contact radial A 1 rangée de billes	N..2 XX N..3 XX N..4 XX N..10 XX N..22 XX N..23 XX	Roulement à rouleaux cylindriques NU N NJ NUP Roulement à rotule sur billes	72 XX 73 XX 718 XX	Roulement à billes à contact oblique A 1 rangée de billes
2 XX 3 XX	Avec encoche	12 XX 13 XX 22 XX 23 XX	Bague intérieure large Butée à rotule sur rouleaux	QJ2 XX QJ3 XX	A 4 points de contact
42 XX 43 XX	A 2 rangées de billes	112 XX 113 XX	Butée à billes	32 XX 33 XX	A 2 rangées de billes
302 XX 303 XX 313 XX 320 XX 322 XX 323 XX	Roulement à rouleaux coniques	293 XX 294 XX		52 XX 53 XX	A 2 rangées de billes ZZ ou EE Roulement à rotule sur rouleaux
		511 XX 512 XX 513 XX 514 XX		213 XX 222 XX 223 XX 230 XX 231 XX 232 XX	

Données fabricant

Dimensions d'encombrement			Charges de base		Limite de fatigue	Vitesses de base		Masse	Désignation
d	D	B	dynamique C	statique C ₀		Vitesse de référence	Vitesse limite		
mm			kN		kN	tr/min		kg	–
25	37	7	4,36	2,6	0,125	38 000	24 000	0,022	61805
	42	9	7,02	4,3	0,193	36 000	22 000	0,045	61905
	47	8	8,06	4,75	0,212	32 000	20 000	0,06	* 16005
	47	12	11,9	6,55	0,275	32 000	20 000	0,078	* 6005
	52	15	14,8	7,8	0,335	28 000	18 000	0,13	* 6205
	52	15	17,8	9,8	0,4	28 000	18 000	0,12	6205 ETN9
	62	17	23,4	11,6	0,49	24 000	16 000	0,23	* 6305
	62	17	26	13,4	0,57	24 000	16 000	0,22	6305 ETN9
	80	21	35,8	19,3	0,815	20 000	13 000	0,54	6405
	28	58	16	16,8	9,5	0,405	26 000	16 000	0,17
68		18	25,1	13,7	0,585	22 000	14 000	0,3	63/28
30	42	7	4,49	2,9	0,146	32 000	20 000	0,025	61806
	47	9	7,28	4,55	0,212	30 000	19 000	0,049	61906
	55	9	11,9	7,35	0,31	28 000	17 000	0,089	* 16006
	55	13	13,8	8,3	0,355	28 000	17 000	0,12	* 6006
	62	16	20,3	11,2	0,475	24 000	15 000	0,2	* 6206
	62	16	23,4	12,9	0,54	24 000	15 000	0,18	6206 ETN9
	72	19	29,6	16	0,67	20 000	13 000	0,35	* 6306
	72	19	32,5	17,3	0,735	22 000	14 000	0,33	6306 ETN9

Résistance « statique »

En valeur absolue !

$$C_0 > s_0 \times P_0 \quad P_0 = \max (F_r, X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a)$$

Mode de Fonctionnement	Roulement en rotation						Roulement à l'arrêt	
	Exigences de silence de fonctionnement							
	Faible		Normales		Elevées			
	Billes	Rouleaux	Billes	Rouleaux	Billes	Rouleaux	Billes	Rouleaux
Régulier sans vibrations	0.5	1	1	1.5	2	3	0.4	0.8
Normal	0.5	1	1	1.5	2	3.5	0.5	1
Chocs prononcés	≥ 1.5	≥ 2.5	≥ 1.5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Coefficient de sécurité s_0
(Source SKF)

X_0 et Y_0 selon ISO 76

Type de roulements		1 rangée		2 rangées		
		X_0	Y_0	X_0	Y_0	
Roulements à billes	à contact radial		0.6	0.5	0.6	0.5
	à rotules		0.5	$0.22 \cdot \cotg \alpha$	1	$0.4 \cdot \cotg \alpha$
	à contact oblique	$\alpha = 15^\circ$	0.5	0.46	1	0.92
		$\alpha = 20^\circ$	0.5	0.42	1	0.84
		$\alpha = 25^\circ$	0.5	0.38	1	0.76
		$\alpha = 30^\circ$	0.5	0.33	1	0.66
		$\alpha = 35^\circ$	0.5	0.29	1	0.58
		$\alpha = 40^\circ$	0.5	0.26	1	0.52
$\alpha = 45^\circ$	0.5	0.22	1	0.44		
Roulements à rouleaux	à rouleaux coniques		0.5	$0.22 \cdot \cotg \alpha$	1	$0.44 \cdot \cotg \alpha$
	à rotules		0.5	$0.22 \cdot \cotg \alpha$	1	$0.44 \cdot \cotg \alpha$

Vérifier la résistance « Statique » des roulements pour un fonctionnement normal

Résistance « statique »

- Roulement à rouleaux cylindriques

$$\vec{F}_B = \begin{matrix} X_B = 0N \\ Y_B = -10205N \\ Z_B = -15285N \\ 0 \end{matrix}$$

$$F_{rB} = \sqrt{Y_B^2 + Z_B^2} = 18379 \text{ N}$$

$$S_o = 1,5$$

$$C_o = 53\,000 \text{ N}$$

$$P_o = 18\,379 \text{ N}$$



$$S_o \cdot P_o = 27\,570 < C_o$$



Résistance vérifiée

Résistance « statique »

- Roulement à billes $\vec{F}_A = \begin{matrix} X_A = 2730N \\ Y_A = 927N \\ Z_A = -1174N \\ 0 \end{matrix}$

$$F_{rA} = \sqrt{Y_A^2 + Z_A^2} = 1\,500\text{ N}$$
$$F_{aA} = |X_A| = 2\,730\text{ N}$$



$$P_o = \max(1500 ; 0.6 * 1500 + 0.5 * 2730)$$
$$= 2\,265\text{ N}$$

$$S_o = 1$$

$$C_o = 16\,000\text{ N}$$

$$P_o = 2\,265\text{ N}$$



$$S_o.P_o = 2\,265 < C_o$$



Résistance vérifiée

Durée de Vie

Capacité de charge dynamique (N) :
charge radiale appliquée pour que
90% des roulements testés aient
une durée de vie ≥ 1 Millions de
tours

Durée de vie en
Million de tours

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^n$$

Coefficient dépendant du type
de contact
- ponctuel (bille) $n = 3$
- linéaire (rouleaux) $n = 10/3$

Charge radiale équivalente

Et aussi charge radiale minimale

$P > 0,01 C$ pour les billes

$P > 0,02 C$ pour les rouleaux

Problématiques

- Charges radiales pures constantes
- Charges combinées constantes
- Charges variables (constantes par niveau)

Charge radiale pure « constante » : Roulement cylindrique

$$F_{rB} = \sqrt{Y_B^2 + Z_B^2} = 18379 \text{ N}$$

$$C = 62\,000 \text{ N}$$

$$n = 10/3$$



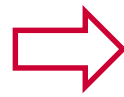
Durée de vie en Nb de kilomètres

Charge radiale pure « constante » : Roulement cylindrique

$$F_{rB} = \sqrt{Y_B^2 + Z_B^2} = 18379 \text{ N}$$

$$C = 62\,000 \text{ N}$$

$$n = 10/3$$



$$P > 0,02 C = 1240 \text{ N}$$

$$L_{10} = 57 \text{ Mtr}$$

Durée de vie en Nb de kilomètres

diamètre du pneu de 630 mm,
rapport en entrée de différentiel de 3,7

Nb de tours effectués par l'essieu : $57 / 3,7 = 15,4 \text{ Mtr}$

Distance parcourue en 1 tr : $0,63 * \pi = 1,98 \text{ m}$


$$L_{km} = 30\,500 \text{ km}$$

ATTENTION : les efforts aux roulements ont été calculés pour un couple moteur max et pour le rapport de seconde, cela ne correspond pas à des conditions de fonctionnement normales du véhicule

Charge combinée « constante »

$$\text{Si } Fa/Fr > e : P = X Fr + Y Fa$$

$$\text{Si } Fa/Fr \leq e : P = Fr$$

Fa/C0	e	X	Y	
0,014	0,19	0,56	0,56	2,3
0,028	0,22	0,56	0,56	1,99
0,056	0,26	0,56	0,56	1,71
0,084	0,28	0,56	0,56	1,55
0,11	0,3	0,56	0,56	1,45
0,17	0,34	0,56	0,56	1,31
0,28	0,38	0,56	0,56	1,15
0,42	0,42	0,56	0,56	1,04
0,56	0,44	0,56	0,56	1

Pour le roulement à billes

$$F_{rA} = 1500 \text{ N}$$

$$F_{aA} = 2730 \text{ N}$$

$$C_0 = 16\,000 \text{ N}$$

$$C = 28\,100 \text{ N}$$

Charge combinée « constante »

Si $F_a/F_r > e$: $P = X F_r + Y F_a$

Si $F_a/F_r \leq e$: $P = F_r$

F_a/C_0	e	X	Y	
0,014	0,19	0,56	0,56	2,3
0,028	0,22	0,56	0,56	1,99
0,056	0,26	0,56	0,56	1,71
0,084	0,28	0,56	0,56	1,55
0,11	0,3	0,56	0,56	1,45
0,17	0,34	0,56	0,56	1,31
0,28	0,38	0,56	0,56	1,15
0,42	0,42	0,56	0,56	1,04
0,56	0,44	0,56	0,56	1

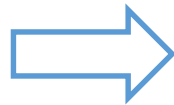
Pour le roulement à billes

$$F_{rA} = 1500 \text{ N}$$

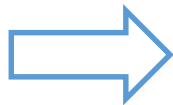
$$F_{aA} = 2730 \text{ N}$$

$$C_0 = 16\,000 \text{ N}$$

$$C = 28\,100 \text{ N}$$



$$F_a / C_0 = 0,17 \rightarrow e = 0,34 \quad X = 0,56 \quad Y = 1,31$$



$$F_a / F_r = 1,83 > e \rightarrow P = 0,56 \cdot 1500 + 1,31 \cdot 2730 = 4416 \text{ N}$$



$$L_{10} = 258 \text{ Mtr}$$

C'est à dire 138 000 km, ce qui paraît plus raisonnable

Charges variant par niveaux

Les k niveaux sont associés à

- une charge radiale **Fri**
- une charge axiale **Fai**
- un nombre de tours réalisés à ce niveau **ni**

On définit

$$\alpha_i^{tr} = \frac{n_i}{\sum_{j=1}^k n_j}$$

Pour chaque niveau on calcule la charge radiale équivalente : P_i

On définit la charge radiale équivalente aux k niveaux $P_{equi} = \sqrt[n]{\sum_i \alpha_i^{tr} \cdot (P_i)^n}$

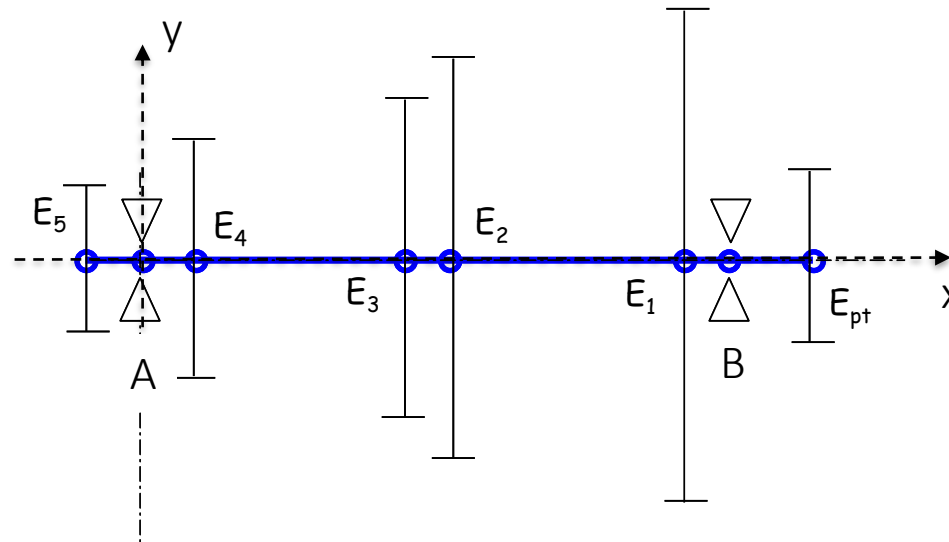
On calcule la durée de vie $L = \left(\frac{C}{P_{equi}}\right)^n$

Application

Rapport de couple Sortie / Entrée

$C_{\text{moteur}} = 50 \text{ N.m,}$
 $\Omega_{\text{moteur}} = 2500 \text{ tr/mn}$

1	2	3	4	5
3,46	1,86	1,28	0,96	0,75



Efforts aux roulements

Rapport	1	2	3	4	5
Y_A (N)	-825	+206	-68	+258	+297
Z_A (N)	1536	10	15	-1016	-1120
X_A (N)	-1324	-678	-345	-179	-25
Y_B (N)	-479	-933	-374	-582	-506
Z_B (N)	-12205	-6112	-4418	-2439	-1740

Application

	1 ^{ère}	2 ^{nde}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}
% utilisation en temps	5 %	15 %	30 %	20 %	30 %
α^t	0,05	0,15	0,3	0,2	0,3

Problème : comment passer d'une répartition en temps à une répartition en tours ?

Pendant un temps T on va faire :

$$\begin{array}{ll} \text{ni tours au niveau } i & n_i = T \alpha_i^t \cdot N_i \\ \text{un nombre total de tours} & n_r = T \cdot \sum \alpha_i^t \cdot N_i \end{array} \quad \Rightarrow \quad \alpha_i^{\text{tr}} = \frac{\alpha_i^t \cdot N_i}{\sum_j \alpha_j^t \cdot N_j}$$

Déterminer la durée de vie des roulements à l'aide d'une feuille excel

Avec N vitesse de rotation de l'arbre secondaire

Pour bien comprendre : Application – 2 Niveaux de charges

1 : 5% du temps 2^{nde}
2: 95% du temps 4^{eme}



$$\alpha_{t1} =$$

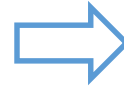
$$\alpha_{t2} =$$

Rapport réduction couple boite

2^{nde} : 1,86

4^{eme} : 0,96

$\Omega_{\text{moteur}} = 2500 \text{ tr/mn}$



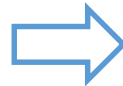
Vitesse rotation arbre secondaire

$$N1 =$$

$$N2 =$$

Taux d'utilisation en tours

$$\alpha_i^{\text{tr}} = \frac{\alpha_i^t \cdot N_i}{\sum_j \alpha_j^t \cdot N_j}$$

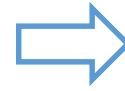


$$\alpha_1^{\text{tr}} =$$

$$\alpha_2^{\text{tr}} =$$

Pour bien comprendre : Application – 2 Niveaux de charges

1 : 5% du temps 2^{nde}
2: 95% du temps 4^{eme}



$$\alpha_{t1} = 0,05 \quad \alpha_{t2} = 0,95$$

Rapport réduction couple boite

2^{nde} : 1,86

4^{eme} : 0,96

$$\Omega_{\text{moteur}} = 2500 \text{ tr/mn}$$



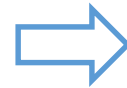
Vitesse rotation arbre secondaire

$$N1 = 2500/1,86 = 1344 \text{ tr/mn}$$

$$N2 = 2500/0,96 = 2604 \text{ tr /mn}$$

Taux d'utilisation en tours

$$\alpha_i^{\text{tr}} = \frac{\alpha_i^t \cdot N_i}{\sum_j \alpha_j^t \cdot N_j}$$



$$\alpha_1^{\text{tr}} = \frac{\alpha_{t1} \cdot N_1}{\alpha_{t1} \cdot N_1 + \alpha_{t2} \cdot N_2} = 0.03$$

$$\alpha_2^{\text{tr}} = 1 - \alpha_1^{\text{tr}} = 0.97$$

Pour bien comprendre : Application – 2 Niveaux de charges

Charge équivalente à chaque niveau de charge

Niveau 1 : 2^{nde} – Déjà fait

$$P_{rB} = 18379 \text{ N}$$

$$P_{rA} = 4416 \text{ N}$$

Niveau 2 : 4^{ème}

Efforts aux roulements

<i>Rapport</i>		4
Y_A (N)		258
Z_A (N)		-1016
X_A (N)		-179
Y_B (N)		-582
Z_B (N)		-2439

$$P_{rA} =$$

$$P_{rB} =$$

Pour bien comprendre : Application – 2 Niveaux de charges

Charge équivalente à chaque niveau de charge

Niveau 1 : 2^{nde} – Déjà fait

$$P_{rB} = 18379 \text{ N} \quad P_{rA} = 4416 \text{ N}$$

Niveau 2 : 4^{ème}

Efforts aux roulements

<i>Rapport</i>		4
Y_A (N)		258
Z_A (N)		-1016
X_A (N)		-179
Y_B (N)		-582
Z_B (N)		-2439

$$P_{rA} =$$

$$P_{rB} = \sqrt{Y_B^2 + Z_B^2} = 2507 \text{ N}$$

Pour bien comprendre : Application – 2 Niveaux de charges

Charge équivalente à chaque niveau de charge

Niveau 2 : 4^{ème}

Efforts aux roulements

Rapport	4
Y_A (N)	258
Z_A (N)	-1016
X_A (N)	-179
Y_B (N)	-582
Z_B (N)	-2439

$$A_{rA}/C_0 = 0,011$$

Fa/C0	e	X	Y	
0,014	0,19	0,56	2,3	

La valeur Fa/Co n'existe pas, on prend (choix) e=0,19

$$A_{rA}/R_{rA} = 0,17 < e$$

$$\text{Si } Fa/Fr \leq e : P = Fr \quad P_A = 1050 \text{ N}$$

$$R_{rA} = 1050 \text{ N}$$

$$A_{rA} = 179 \text{ N}$$

$$C_0 = 16\,000 \text{ N}$$

Pour bien comprendre : Application – 2 Niveaux de charges

Charge équivalente pour chaque roulement

$$P_{equi} = \sqrt[n]{\sum_i \alpha_i^{tr} \cdot (P_i)^n} \quad \begin{array}{l} \alpha_1^{tr} = 0.03 \\ \alpha_2^{tr} = 0.97 \end{array}$$

Roulement A (billes n=3)

$$P_{rA1} = 4416 \text{ N}$$

$$P_{rA2} = 1050 \text{ N}$$

Roulement B (billes n=10/3)

$$P_{rB1} = 18379 \text{ N}$$

$$P_{rB2} = 2507 \text{ N}$$

Pour bien comprendre : Application – 2 Niveaux de charges

Charge équivalente pour chaque roulement

$$P_{equi} = \sqrt[n]{\sum_i \alpha_i^{tr} \cdot (P_i)^n} \quad \begin{array}{l} \alpha_1^{tr} = 0.03 \\ \alpha_2^{tr} = 0.97 \end{array}$$

Roulement A (billes n=3)

$$P_{rA1} = 4416 \text{ N}$$

$$P_{equA} = 1547 \text{ N}$$

$$P_{rA2} = 1050 \text{ N}$$

Roulement B (billes n=10/3)

$$P_{rB1} = 18379 \text{ N}$$

$$P_{equB} = 6500 \text{ N}$$

$$P_{rB2} = 2507 \text{ N}$$

Pour bien comprendre : Application – 2 Niveaux de charges

Charge équivalente pour chaque roulement

$$P_{equi} = \sqrt[n]{\sum_i \alpha_i^{tr} \cdot (P_i)^n} \quad \begin{array}{l} \alpha_1^{tr} = 0.03 \\ \alpha_2^{tr} = 0.97 \end{array}$$

Roulement A (billes n=3)

$$P_{rA1} = 4416 \text{ N}$$

$$P_{equA} = 1547 \text{ N}$$

$$P_{rA2} = 1050 \text{ N}$$

Roulement B (billes n=10/3)

$$P_{rB1} = 18379 \text{ N}$$

$$P_{equB} = 6500 \text{ N}$$

$$P_{rB2} = 2507 \text{ N}$$

Pour bien comprendre : Application – 2 Niveaux de charges

Durée de vie pour chaque roulement

$$L = \left(\frac{C}{P_{equi}} \right)^n$$

Roulement A (billes n=3) $P_{equA} = 1547 \text{ N}$

$C = 28\,100 \text{ N}$

Roulement B (billes n=10/3) $P_{equB} = 6500 \text{ N}$

$C = 62\,000 \text{ N}$

Pour bien comprendre : Application – 2 Niveaux de charges

Durée de vie pour chaque roulement

$$L = \left(\frac{C}{P_{equi}} \right)^n$$

Roulement A (billes n=3) $P_{equA} = 1547 \text{ N}$
 $C = 28\,100 \text{ N}$

$$L_A = 3,87 \text{ Mtr}$$

Roulement B (billes n=10/3) $P_{equB} = 6500 \text{ N}$
 $C = 62\,000 \text{ N}$

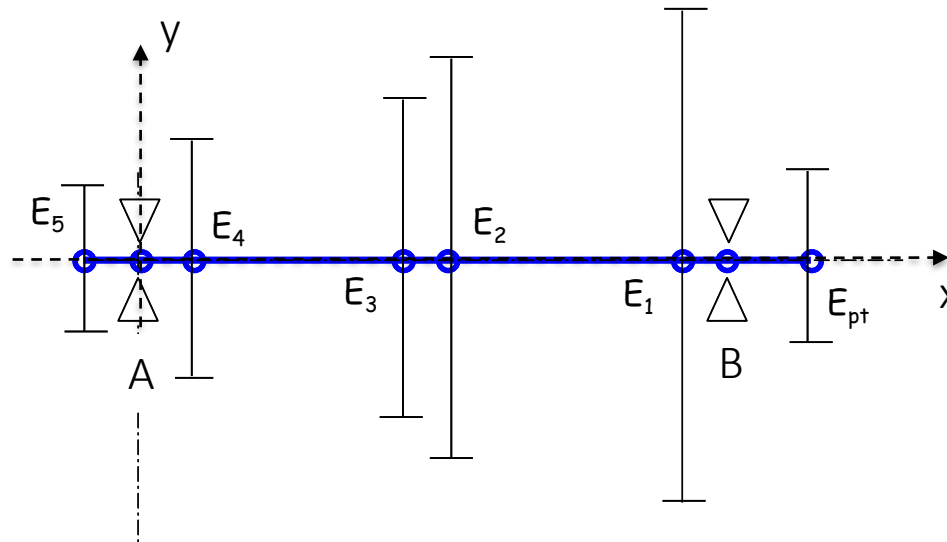
$$L_B = 1,8 \text{ Mtr}$$

Application

Rapport de couple Sortie / Entrée

$C_{\text{moteur}} = 50 \text{ N.m,}$
 $\Omega_{\text{moteur}} = 2500 \text{ tr/mn}$

1	2	3	4	5
3,46	1,86	1,28	0,96	0,75



Efforts aux roulements

Rapport	1	2	3	4	5
PA (N)	3028,6	1274,88	763,4954664	1048	1159
% utilisation en temps	5%	15%	30%	20%	30%

Utilisation feuille excel

Rapport de réduction						
	1	2	3	4	5	Differentiel
	3,46	1,86	1,28	0,96	0,75	3,7
Vitesse arbre secondaire						
	723	1344	1953	2604	3333	
Efforts aux roulements						
Rapport	1	2	3	4	5	
Y_A (N)	-825	206	-68	258	297	
Z_A (N)	1536	10	15	-1016	-1120	
X_A (N)	-1324	-678	-345	-179	-25	
Y_B (N)	-479	-933	-374	-582	-506	
Z_B (N)	-12205	-6112	-4418	-2439	-1740	
Fr et Fa						
FrA	1744	206	70	1048	1159	
FaA	1324	678	345	179	25	
FrB	12214	6183	4434	2507	1812	

Durée vie						
Diametre roue		0,63 m				
	1 ^{ère}	2 ^{nde}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	
% utilisation en temps	5%	15%	30%	20%	30%	
α^l	0,05	0,15	0,3	0,2	0,3	
$N.\alpha^l$	36,13	201,61	585,94	520,83	1000,00	2344,51
α^r	0,02	0,09	0,25	0,22	0,43	

Distance avec les roulements à rouleaux

<i>Roulement à rouleaux</i>					
Co	53000				
C	62000	Pmin	1240		
n	3,33				
Charge radiale	12214	6183	4434	2507	1812
P/Pmin	9,85	4,99	3,58	2,02	1,46
(Pi)^n	4,19669E+13	4,3379E+12	1,4319E+12	2,1419E+11	7,2542E+10
	6,46678E+11	3,7304E+11	3,5787E+11	4,7581E+10	3,0941E+10
Peq	4456,127131				
L10	6478	Mtr			

Soit 3,5 millions de km

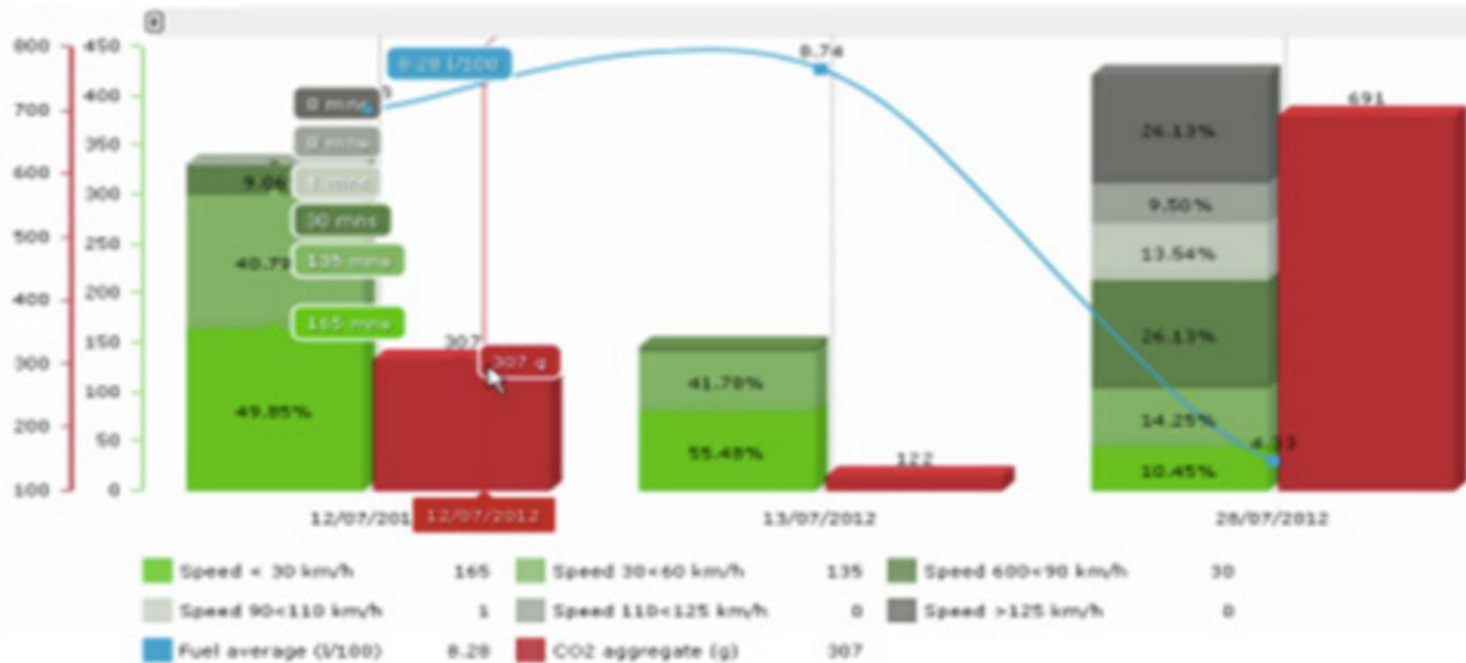
Distance avec les roulements à billes

<i>Roulement à billes</i>						
Co	16000					
C	28100	Pmin	281			
n	3,00					
Fr	1744	206	70	1048	1159	
Fa	1324	678	345	179	25	
Fa/Co	0,08275	0,042375	0,0215625	0,0111875	0,0015625	
e	0,28	0,26	0,2	0,19	0,19	
X	0,56	0,56	0,56	0,56	2,3	
Y	1,55	1,71	2,1	0,56	2,3	
Fa/Fr	0,759375946	3,28739106	4,95442209	0,17076142	0,02157572	
Pi	3028,580677	1274,87584	763,495466	1048	1159	
Pi/Pmin	10,77786718	4,53692471	2,71706572	3,73041336	4,12352334	
alph.P^n	428054531	0,08599359	0,24991886	0,2221501	0,42652819	
Peq	753,6442092					
L10	51834,61298					

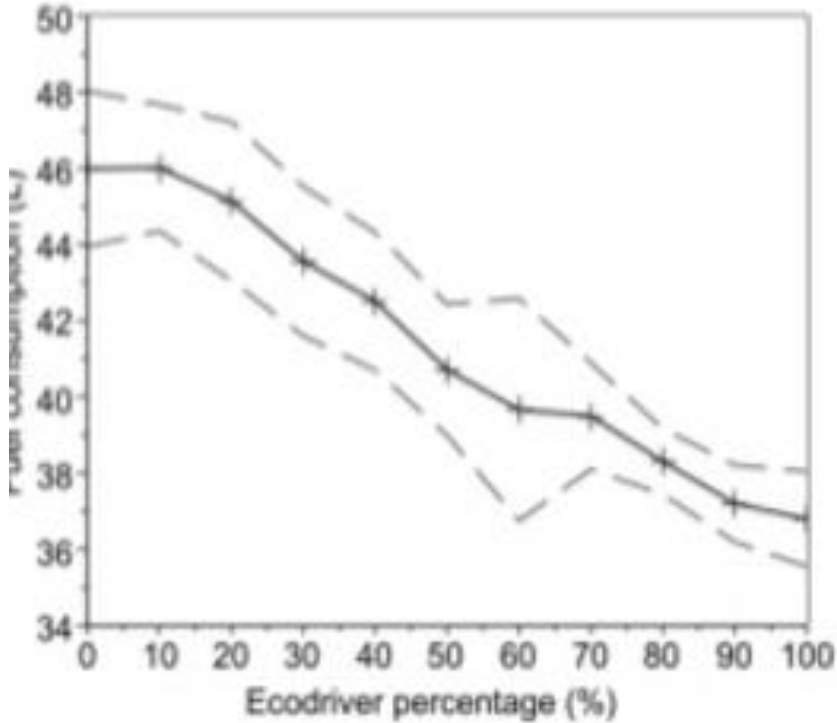
Soit 28 millions de km

Impacts sur la consommation et le rejet de CO2

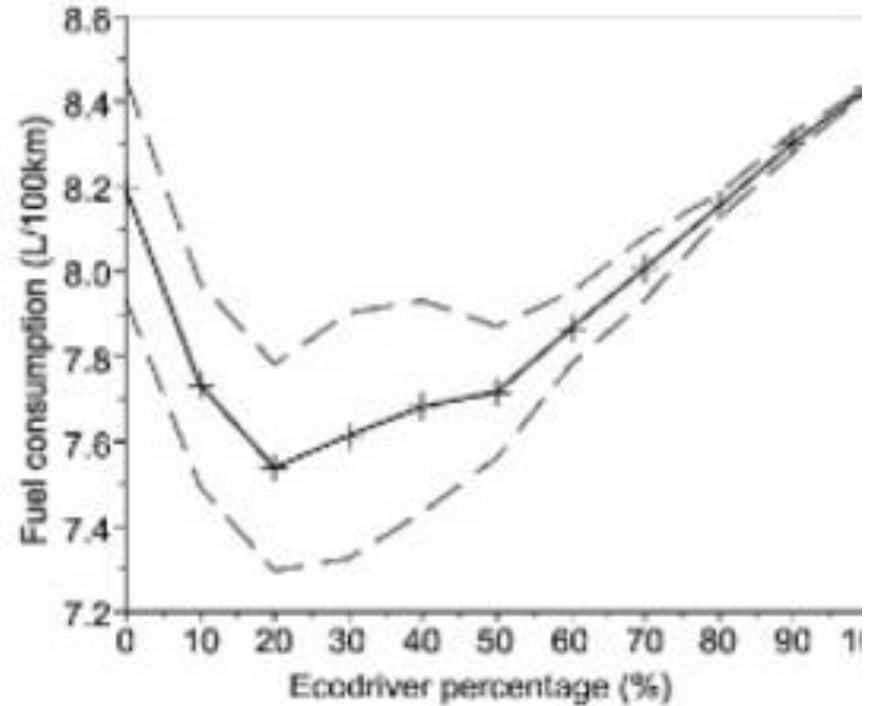
- Simulations de l'éco conduite pour un temps donné/ conduite agressive : 3 scénarios avec CO2 et consommation associée



Impact éco-conduite



Consommation de carburant dans un trafic urbain congestionné



Consommation de carburant dans un trafic interurbain proche de la saturation

Facteurs principaux de baisses des émissions de particules pour 2020 avec le plan de protection de l'atmosphère

Principaux facteurs de diminution des émissions de PM10 du scénario « 2020 fil de l'eau »

-Secteur résidentiel et tertiaire avec - 34 % d'émissions par rapport à 2008 :

Réduction des consommations de bois de chauffage, taux d'équipement constant et renouvellement vers des installations plus performantes en consommation énergétique et à l'émission

-Transport routier avec - 53 % d'émissions par rapport à 2008 :

Facteurs d'émission Euro V et VI très contraignants et taux de renouvellement

Principaux facteurs de diminution supplémentaire des émissions de PM10 du scénario « 2020 + PPA »

- Secteur résidentiel et tertiaire avec - 27 % d'émissions par rapport au tendanciel:

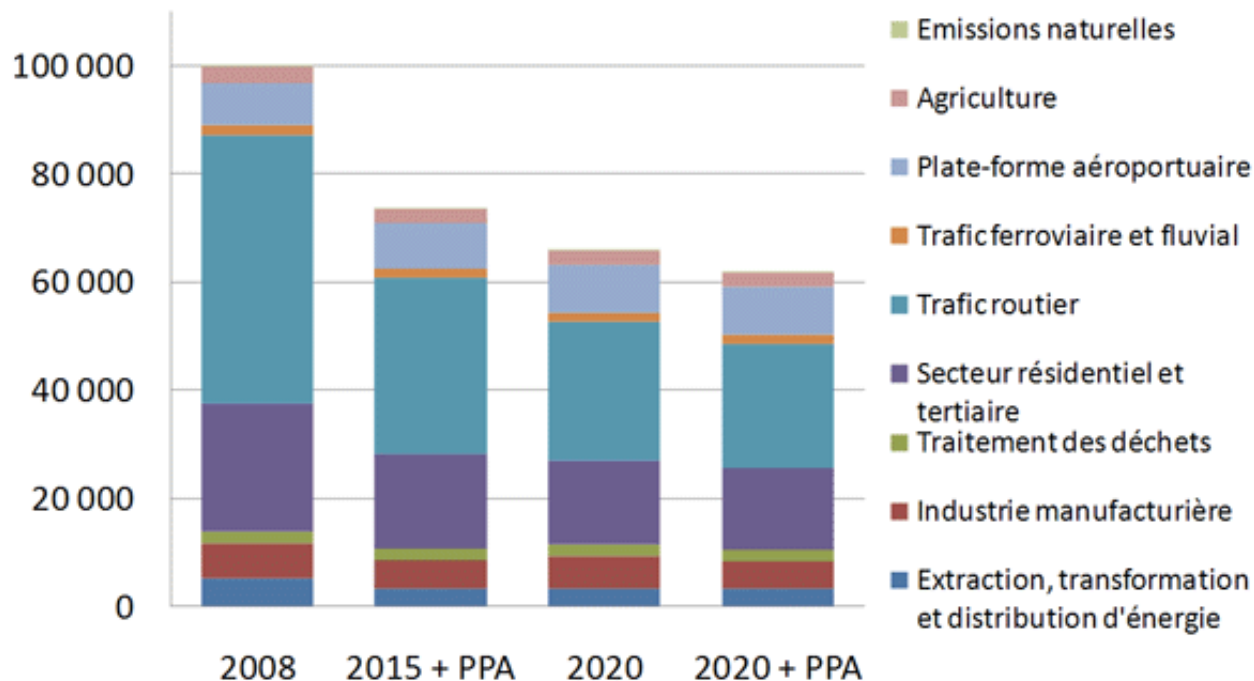
Baisse supplémentaire des consommations de bois à Paris et Petite Couronne et réduction des facteurs d'émissions sur l'ensemble de l'Ile-de-France suite à l'interdiction des foyers ouverts

- Transport routier avec - 9 % d'émissions par rapport au tendanciel:

Baisse du trafic routier (PDU, ZAPA), de la consommation moyenne (Eco-conduite) et des facteurs d'émissions (ZAPA)

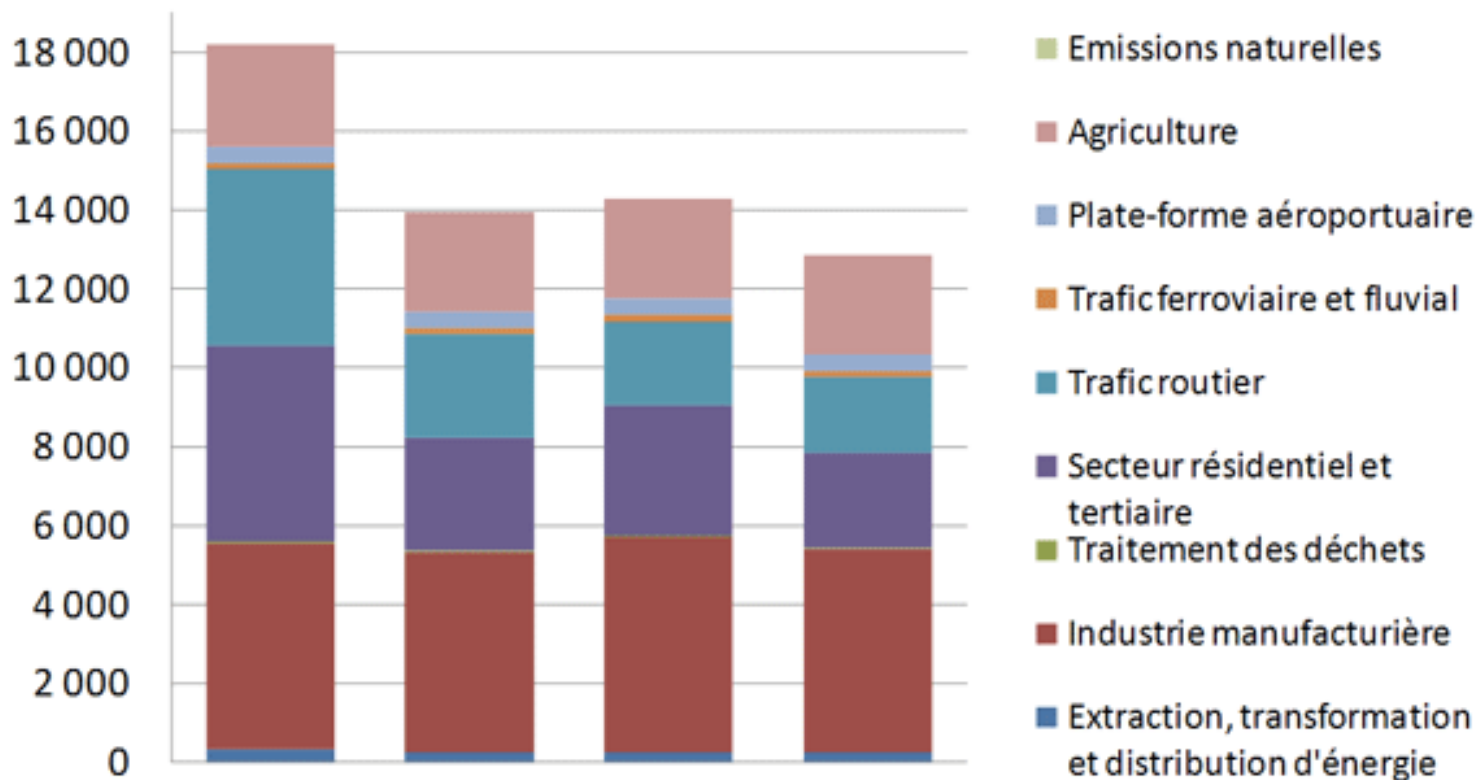
Prise en compte de l'éco-conduite dans les prévisions 2020

Evolutions des émissions de NOx - Ile-de-France



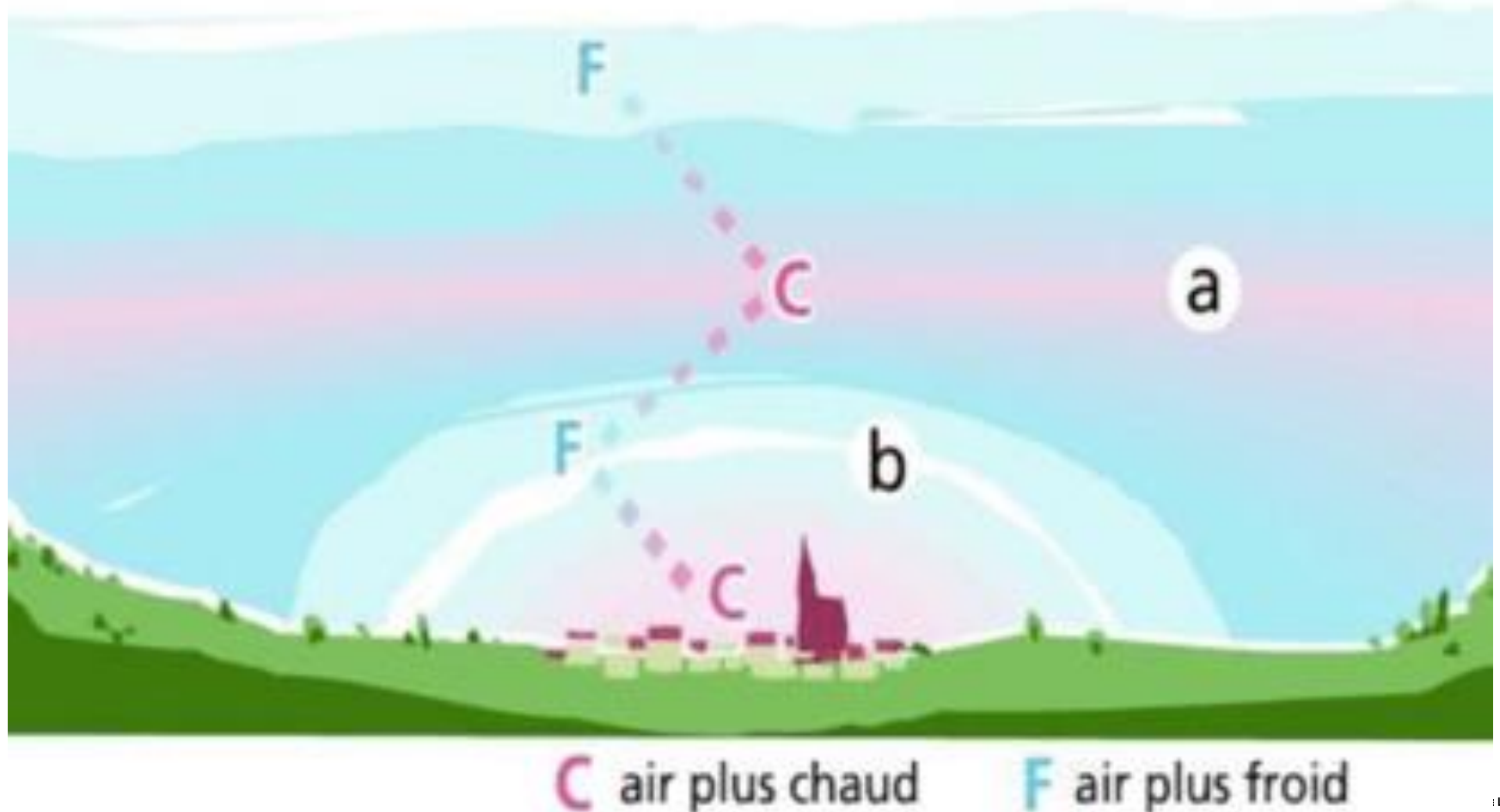
Prise en compte de l'éco-conduite dans les prévisions 2020

Evolutions des émissions de PM10 - Ile-de-France

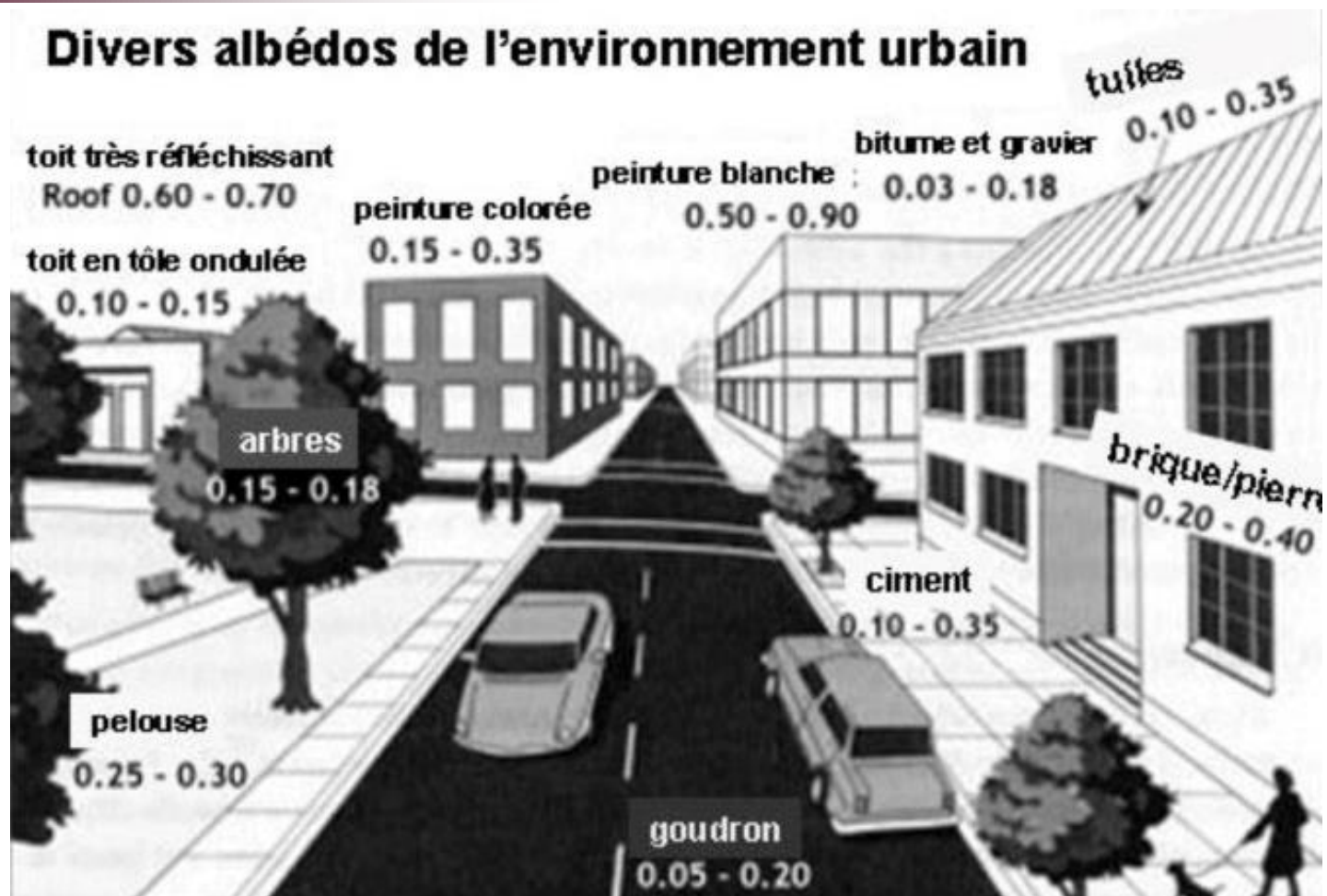


Le dôme urbain et l'inversion de températures en hiver

Le sol refroidit fortement pendant la nuit tandis que l'atmosphère se réchauffe rapidement . Les polluants, notamment émis le matin par le trafic routier, se trouvent piégés sous un effet de couvercle d'air chaud. Ils ne peuvent plus s'élever et être évacués .



Effet de l'albédo en ville

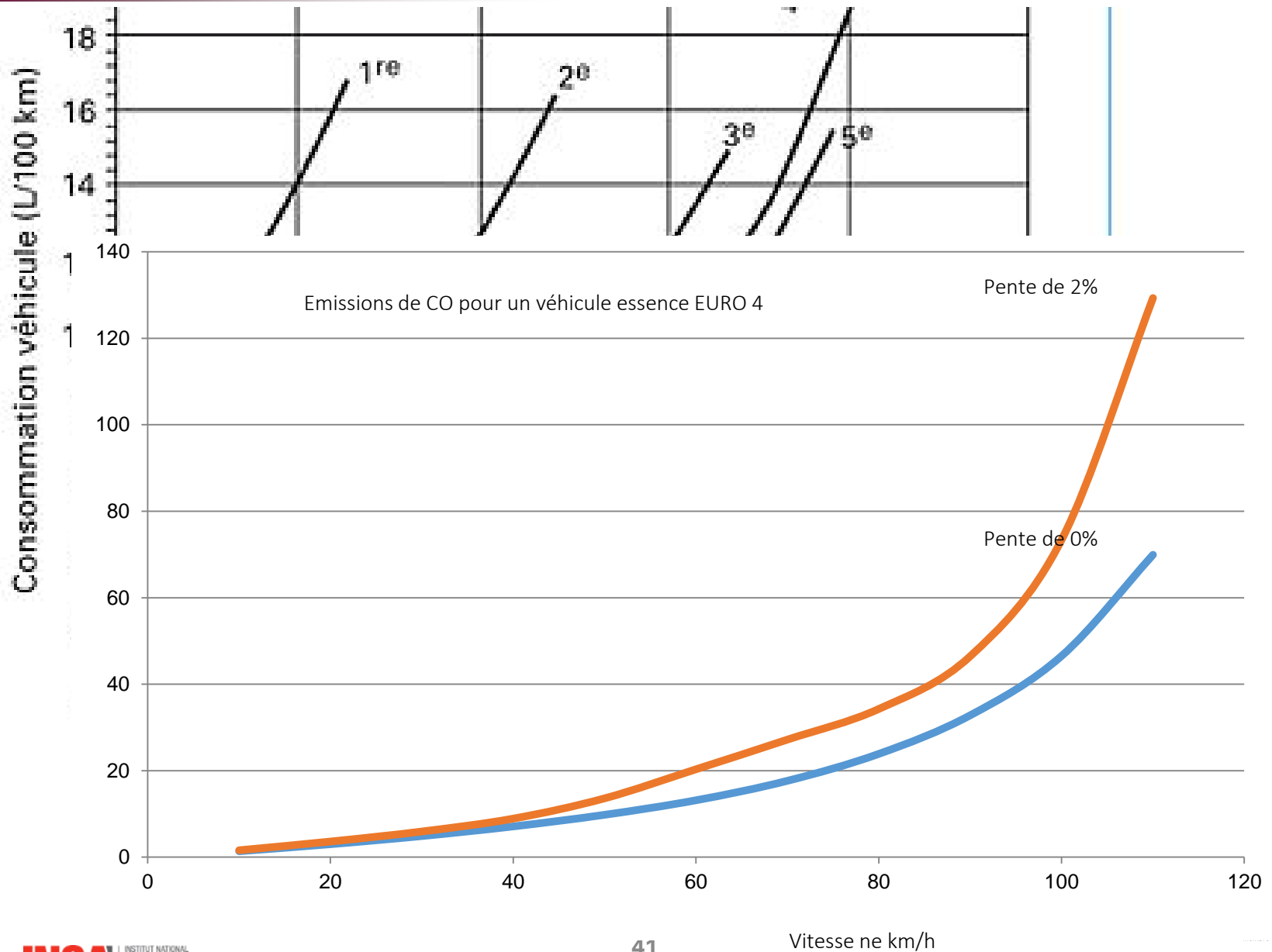


Chaleur anthropique, notamment en hiver : chauffage, climatisation, industries, circulation automobile, éclairage, ...=>

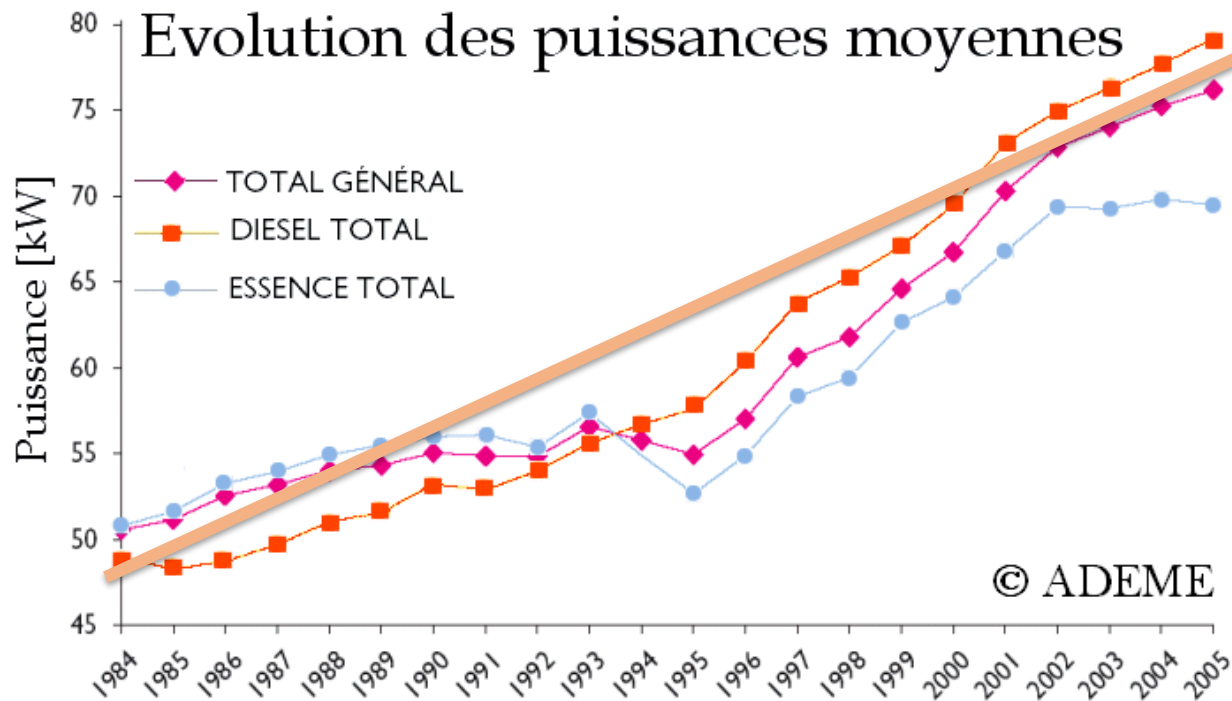
Hausse des températures et de la pollution

Par exemple, une route éclairée aura une température d'1°C supérieure par rapport à une route non éclairée.⁴⁰

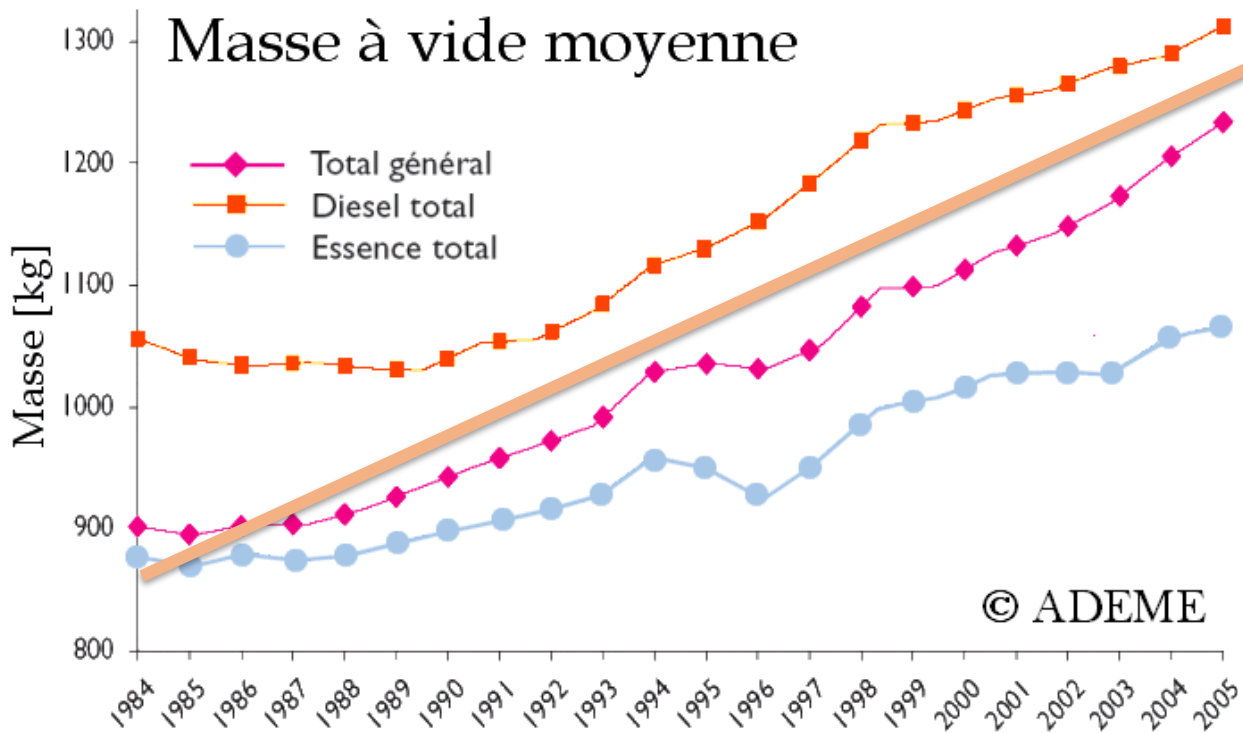
Effet de la vitesse et de la pente sur l'émission des polluants



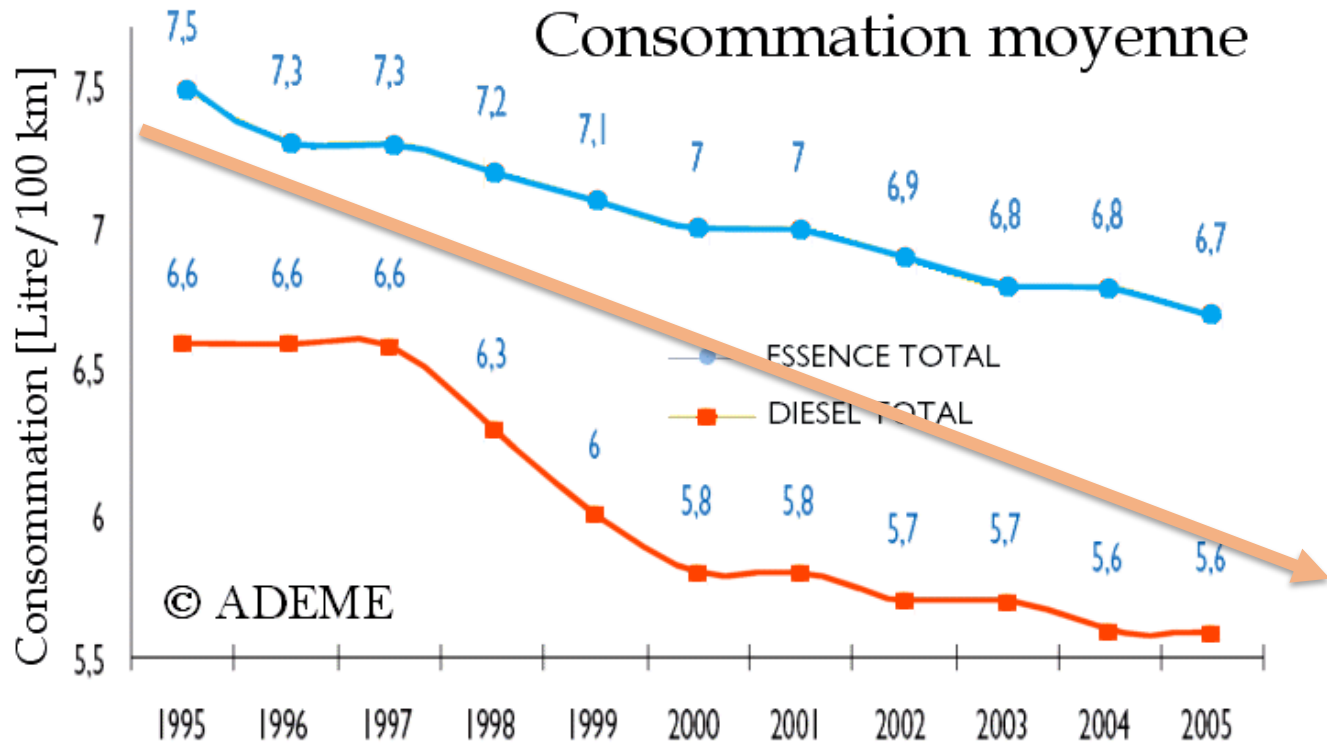
Perspectives d'évolution



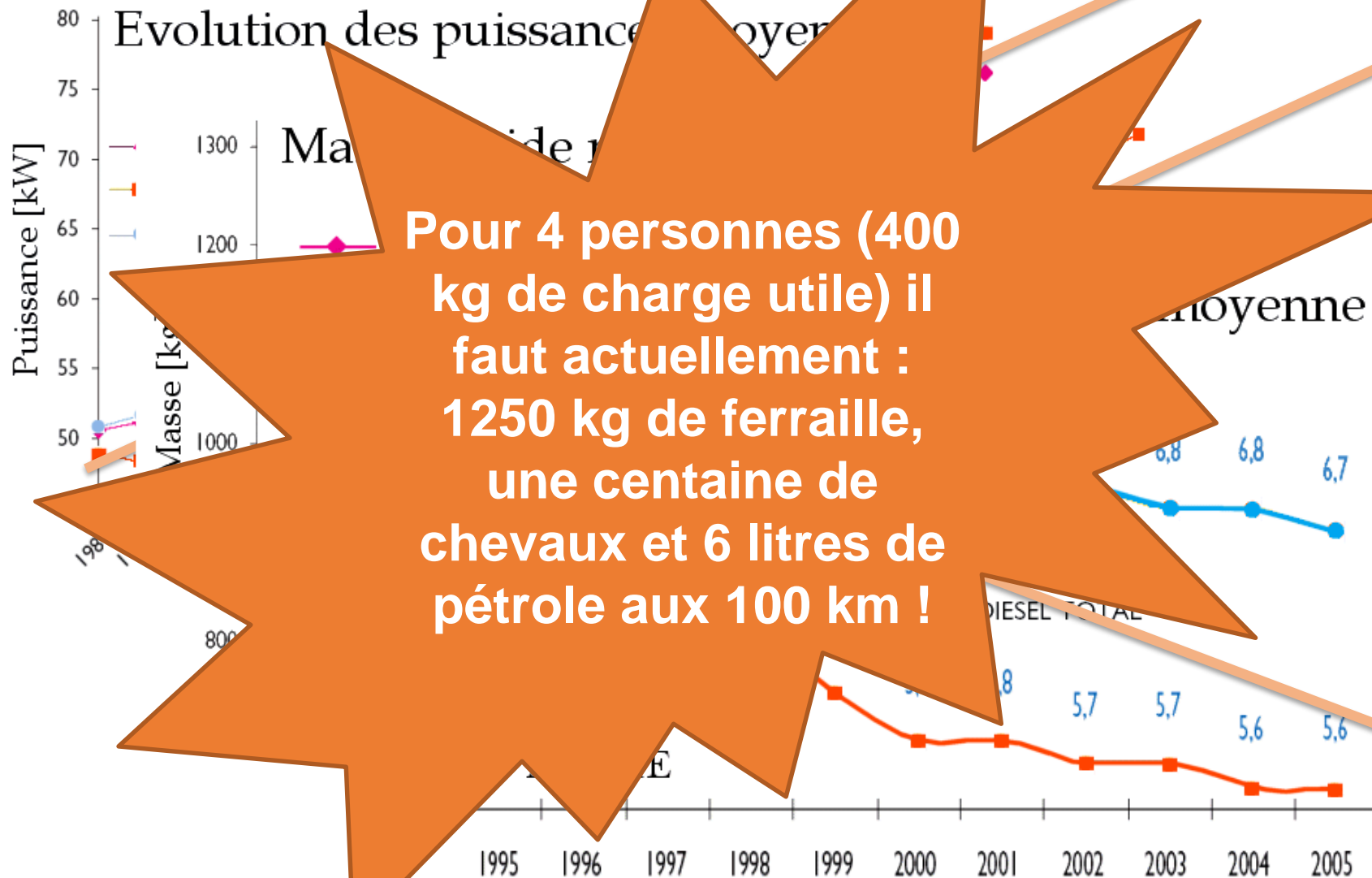
Perspectives d'évolution



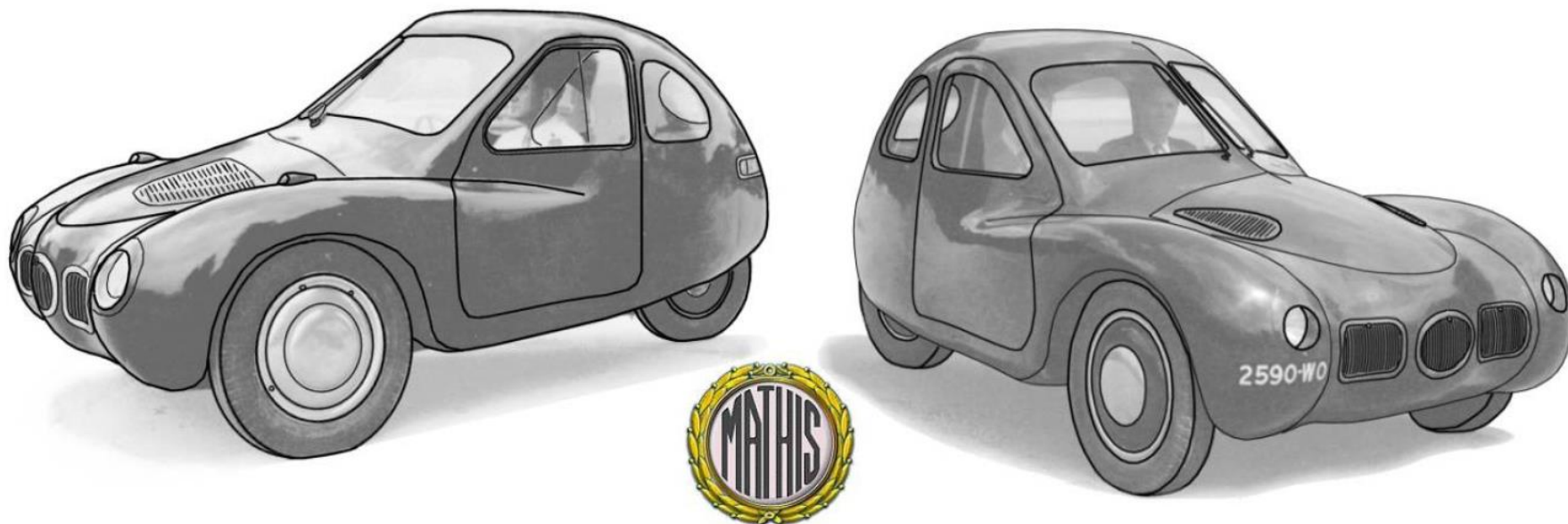
Perspectives d'évolution



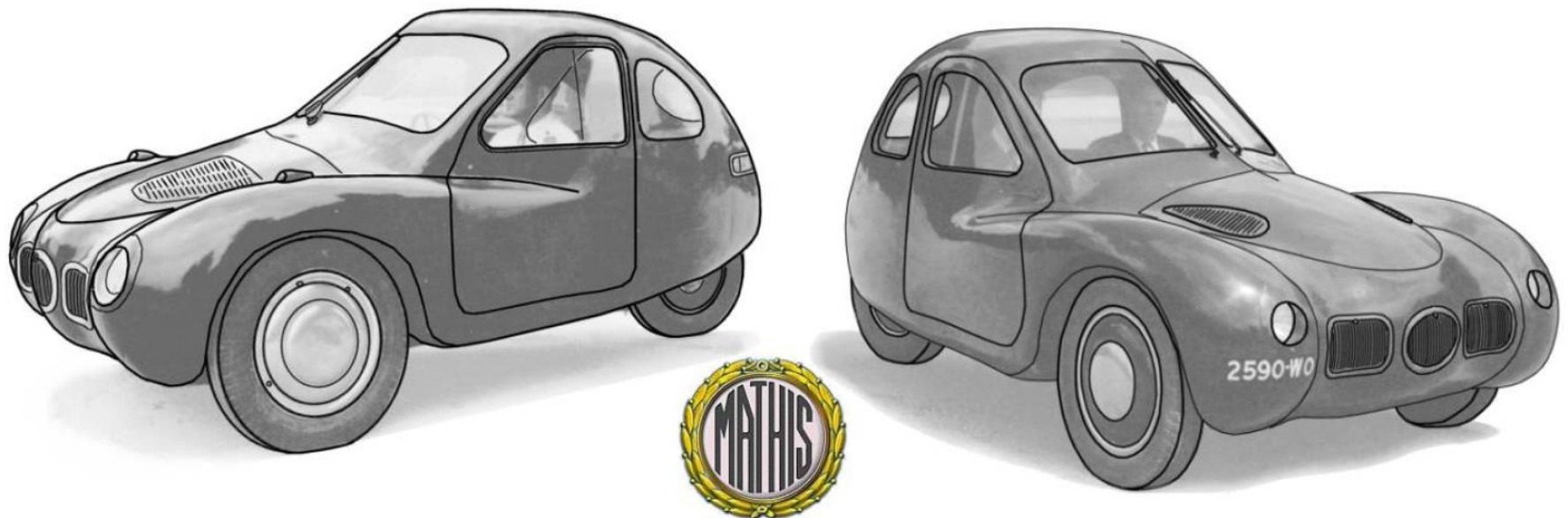
Perspectives d'évolution



En 1946 on pouvait pour la même performance :
Avoir seulement 380 kg de masse à vide,
20 ch au lieu de 100 ch,
Et 3 litres au 100 km...



La technologie actuelle permettrait d'arriver à :
1,5 litres au 100 km,
400 kg de masse à vide (pour le niveau de confort actuel...)
20 ch au lieu de 100 ch !



La technologie actuelle

1.5 l

400 kg de

arriver

(actuel...)

Et même plus
loin avec
l'hybridation
moteur : 1 litre
au 100 km



Architecture type

Un moteur **thermique** irréversible pour fournir la puissance liée au frottement (résistance aérodynamique, contact au sol...)
+
Un moteur **électrique** réversible pour la puissance d'inertie, elle-même réversible

