

Machines à fluides, machines thermiques - Fondements  
Examen (exercices) du 29 août 2011

**Consignes**

- Encadrer les réponses finales (et uniquement celles-là)
- Détailler le raisonnement
- Préciser l'échelle utilisée lorsqu'une valeur est lue sur une courbe
- Calculer avec une bonne précision
- Accélération de la pesanteur :  $9,81 \text{ m/s}^2$

**Pondération :**

- Mécaniciens : exercice 1 : 1/3; exercice 2 : 1/3; exercice 3 : 1/3
- Non-mécaniciens : exercice 1 : 1/2; exercice 2 : 1/2

## Exercice 1

Une pompe centrifuge dont les caractéristiques sont données à la vitesse de rotation  $2900 \text{ tr/min}$  pour un fonctionnement à l'eau ( $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ ) est placée dans un circuit pour faire circuler de l'eau d'un réservoir A à un réservoir B.

Le réservoir A est à pression atmosphérique ( $1,013 \text{ bar}$ ) tandis qu'on maintient une pression absolue de  $5 \text{ bars}$  dans le réservoir B. Le niveau de surface libre du réservoir B est situé à trois mètres au-dessus de celui du réservoir A.

La perte de charge dans les tuyauteries exprimée en mètre de colonne d'eau est égale à  $0,0015 q_v^2$  où  $q_v$  est exprimé en  $\text{m}^3/\text{h}$ .

1. A quelle vitesse faut-il faire tourner la pompe pour obtenir dans l'installation un débit de  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ ?
2. Quelle est alors la puissance d'entraînement de la pompe?

## Exercice 2

Soit une installation comprenant une pompe (caractéristiques données à la page suivante) pompant de l'eau d'un réservoir A à un réservoir B.

Caractéristiques :

- réservoir A à pression atmosphérique ( $1013,25 \text{ hPa}$ )
- fluide : eau :  $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$
- débit de la pompe au point nominal de fonctionnement :  $q_v = 48 \text{ m}^3/\text{h}$
- entrée de la pompe située  $6\text{m}$  plus haut que la surface libre du réservoir A
- tuyauterie d'aspiration de  $80\text{mm}$  de diamètre pour  $3\text{m}$  de long
- un coude dans la tuyauterie d'aspiration ( $\frac{d}{R} = 0,4$ )
- un clapet de non-retour à l'aspiration
- température de l'eau :  $293,15\text{K}$
- pression de vapeur saturante de l'eau [bar] en fonction de la température [ $^{\circ}\text{C}$ ] :

$$p_{vap\,sat} = e^{\left(11,723766 - \frac{3841,195}{(t + 228,01)}\right)}$$

Déterminer et **justifier** s'il y a risque de cavitation.

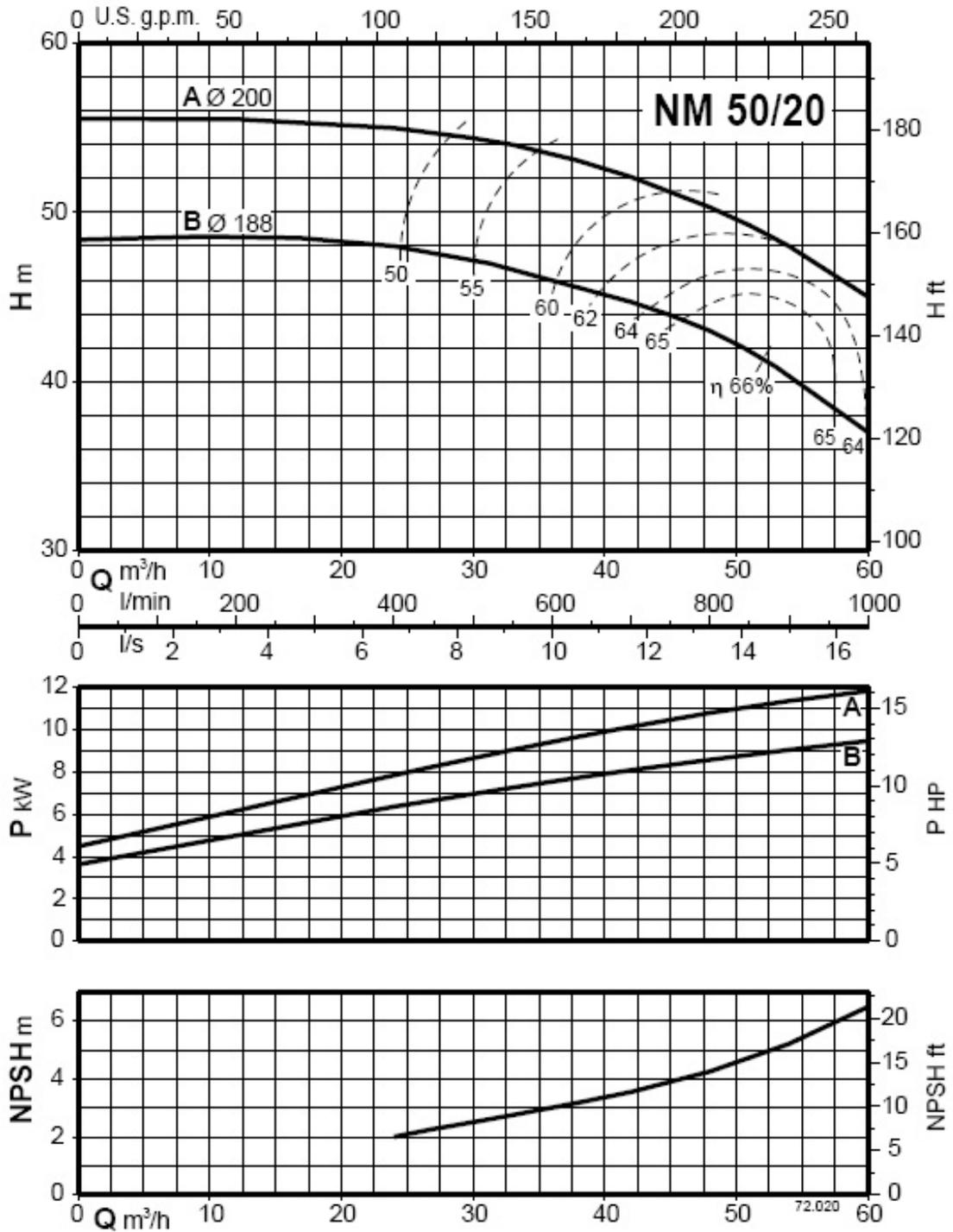


FIGURE 1 -

**Table n. 1**  
**Pertes de charge dans les tuyaux d'acier**

Tuyau		Q m³/h	1	3	6	9	12	18	24	30	36	42	48	60	90	120	180	240	300	360	420
G	fl mm	Q l/min	16	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000
G 1	DN 25	2,7 0,6	21 1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 1 1/4	DN 32	0,7 0,35	5,5 1	22 2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 1 1/2	DN 40	-	1,8 0,7	7 1,35	14 1,9	23 2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 2	DN 50	-	0,5 0,4	2,2 0,8	4 1,25	8 1,5	17 2,5	28 3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 2 1/2	DN 65	-	-	0,6 0,5	1,2 0,75	2,1 1	4,2 1,4	8 2	12 2,5	17 3	22 3,4	28 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DN 80	HL v	-	-	-	-	0,8 0,7	1,6 0,95	2,8 1,25	4,2 1,6	6,5 2	7,5 2,1	10,5 2,6	15 3,3	-	-	-	-	-	-	-
	DN 100	m/100m m/s	-	-	-	-	-	0,55 0,6	0,9 0,8	1,4 1,1	2 1,25	2,4 1,4	3,5 1,6	5 2	11 3,2	20 4	-	-	-	-	-
	DN 125		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9 0,95	1,2 1,1	1,8 1,4	4 2	6,5 2,7	15 4	-	-	-	-
	DN 150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6 0,9	1,5 1,4	2,5 1,7	5 2,7	8 3,5	14 4,8	-	-
	DN 200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4 0,8	0,6 1	1,3 1,6	2 2	3,5 2,6	4,6 3	6,5 3,5	-
	DN 250		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4 1	0,7 1,3	1,1 1,6	1,6 2	2,3 1,6	-
	DN 300		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3 0,9	0,45 1,25	0,7 1,4	0,9 1,6	-

Q Débit. HL Pertes de charge en m pour 100 m. v = Vitesse de passage max 1,5 m/s pour l'aspiration et 3 m/s pour le refoulement.

**Table n. 2**  
**Pertes de charge en cm pour les courbes, vannes, clapet de pied et clapet de non-retour**

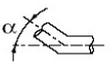
Vitesse de l'eau m/sec.	Courbes à angle vif 					$\alpha = 90^\circ$ Courbes à angle arrondi 					Vannes standard 	Clapet de pie 	Clapet de non-retour 
	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 80^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\frac{d}{R} = 0,4$	$\frac{d}{R} = 0,6$	$\frac{d}{R} = 0,8$	$\frac{d}{R} = 1$	$\frac{d}{R} = 1,5$			
0,4	0,43	0,52	0,71	1,0	1,2	0,11	0,13	0,16	0,23	0,43	0,23	32	31
0,5	0,67	0,81	1,1	1,6	1,9	0,18	0,21	0,26	0,37	0,67	0,37	33	32
0,6	0,97	1,2	1,6	2,3	2,8	0,25	0,29	0,36	0,52	0,97	0,52	34	32
0,7	1,35	1,65	2,2	3,2	3,9	0,34	0,40	0,48	0,70	1,35	0,70	35	32
0,8	1,7	2,1	2,8	4,0	4,8	0,45	0,53	0,64	0,93	1,7	0,95	36	33
0,9	2,2	2,7	3,6	5,2	6,2	0,57	0,67	0,82	1,18	2,2	1,20	37	34
1,0	2,7	3,3	4,5	6,4	7,6	0,7	0,82	1,0	1,45	2,7	1,45	38	35
1,5	6,0	7,3	10	14	17	1,6	1,9	2,3	3,3	6	3,3	47	40
2,0	11	14	18	26	31	2,8	3,3	4,0	5,8	11	5,8	61	48
2,5	17	21	28	40	48	4,4	5,2	6,3	9,1	17	9,1	78	58
3,0	25	30	41	60	70	6,3	7,4	9	13	25	13	100	71
3,5	33	40	55	78	93	8,5	10	12	18	33	18	123	85
4,0	43	52	70	100	120	11	13	16	23	42	23	150	100
4,5	55	67	90	130	160	14	21	26	37	55	37	190	120
5,0	67	82	110	160	190	18	29	36	52	67	52	220	140

FIGURE 2 –

## Exercice 3

Une voiture, dont les caractéristiques sont données ci-dessous, roule à la vitesse constante de  $70\text{km/h}$  sur une route présentant une pente de 5% (montée) et subit un vent de face de  $50\text{km/h}$ .

- masse totale :  $1435\text{ kg}$
- rayon de roulement des roues :  $0,34\text{ m}$
- maître-couple :  $2,27\text{ m}^2$
- $C_x$  :  $0,33$
- rapport de pont :  $3,95$
- pouvoir calorifique inférieur du carburant :  $43,8\text{ MJ/kg}$
- masse volumique du carburant (essence) :  $750\text{ kg.m}^{-3}$
- courbe de la puissance effective maximale du moteur en fonction de sa vitesse de rotation : cf tableau
- pression atmosphérique :  $1,01325\text{ bar}$
- température ambiante :  $18^\circ\text{C}$
- $R_{air} = 288\text{ J.(kg.K)}^{-1}$
- coefficients pour la résistance mécanique à l'avancement :  $A = 8.10^{-3}$  et  $B = 1,6.10^{-5}\text{ s}^2/\text{m}^2$
- puissance absorbée par les accessoires :  $2\text{ kW}$
- rendement de la transmission de puissance du moteur aux roues :  $98\%$
- rendement de la transmission de puissance du moteur aux accessoires :  $97\%$

N [tr/min]	P <sub>emax</sub> [kW]
1500	16,78
1750	20,83
2000	26,50
2250	30,55
2500	34,60
2750	38,92
3000	43,43
3250	48,15
3500	52,61
3750	57,25
4000	61,69
4250	64,98
4500	68,30
4750	71,67
5000	74,09
5250	76,53
5500	78,99
5750	80,00
6000	79,00
6250	75,00
6500	71,00

1. Sachant que la vitesse de rotation du moteur est de  $3000\text{ tr/min}$ , quel est le rapport de boîte choisi ?
2. Si le rendement thermique effectif du moteur est de  $0,25$  pour ce point de fonctionnement,
  - (a) Quel est le couple fourni par le moteur ?
  - (b) Quelle est la consommation du véhicule (exprimée en litres aux 100 kilomètres) ?
  - (c) De quelle puissance dispose-t-on alors en réserve ?

# 1 Solution : Exercice 1

## 1.1 Caractéristique de tuyauterie

$$h = (z_B - z_A) + \frac{p_B - p_A}{\rho g} + 0.0015q_v^2$$

/10

### 1.1.1 Point B

Le point B est sur cette caractéristique et  $q_{vB} = 60 \text{ m}^3/\text{h}$   
d'où  $h_B = 49,0422 \text{ m}$ . /10

## 1.2 Coefficients de Rateau

### 1.2.1 Point A

$$\begin{cases} \frac{h_A}{h_B} = \left(\frac{N_A}{N_B}\right)^2 \\ \frac{q_{vA}}{q_{vB}} = \left(\frac{N_A}{N_B}\right) \end{cases} /10$$

d'où :  $h_A = \frac{h_B}{q_{vB}^2} q_{vA}^2 \approx 0,01362 q_{vA}^2$ .

Le point A vérifie  $h_A = \frac{h_B}{q_{vB}^2} q_{vA}^2$  et est sur la caractéristique de pompe. /10

– graphiquement

$$\begin{cases} q_{vA} = 67 \text{ m}^3/\text{h} \\ h_A = 61 \text{ m} \end{cases} /10$$

– calcul

Caractéristique de pompe :  $h = -0.0017q_v^2 - 0.0413q_v + 71.074$

$$\text{Système à résoudre } \begin{cases} h = -0.0017q_v^2 - 0.0413q_v + 71.074 \\ h = \frac{h_B}{q_{vB}^2} q_v^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{vA} = 66,76 \text{ m}^3/\text{h} \\ h_A = 60,716 \text{ m} \end{cases}$$

### 1.2.2 Vitesse de rotation

$$N_B = N_A \frac{q_{vB}}{q_{vA}} = 2900 \frac{60}{66,76} = 2606 \text{ tr/min}$$

/10

### 1.2.3 Puissance d'entraînement

On lit sur la courbe  $P_{eA} = 17.84 \text{ kW}$ . /10

Troisième coefficient de Rateau :

$$\eta_{eiA} = \eta_{eiB}$$

/5

$$\eta_{ei} = \frac{P_{ut}}{P_{ei} \approx P_e} \approx \frac{q_m \cdot e_{ut}}{P_e}$$

$$q_m = q_v \cdot \rho$$

$$e_{ut} = g \cdot H$$

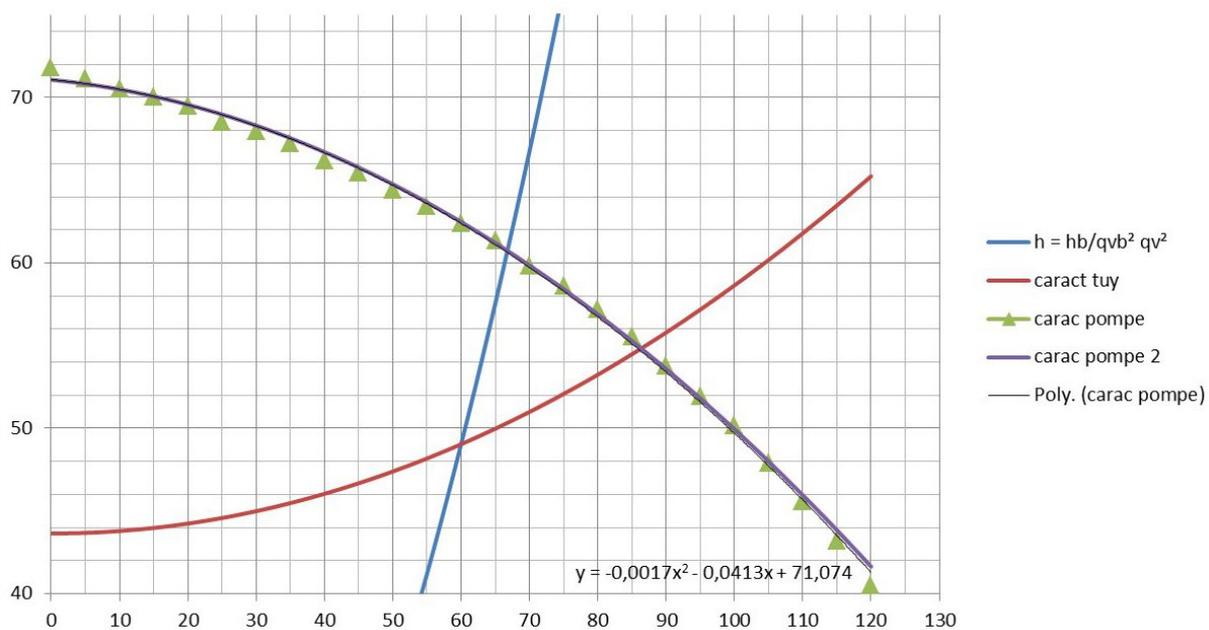
$$\frac{q_{vB} \cdot H_B}{P_{eB}} = \frac{q_{vA} \cdot H_A}{P_{eA}}$$

$$\frac{P_{eA}}{P_{eB}} = \left( \frac{N_A}{N_B} \right)^3$$

/15

$$P_{eB} = 17.84 \left( \frac{2606}{2900} \right)^3 = 12,95 \text{ kW}$$

/10



## 2 Solution : Exercice 2

NPSED [ $J.kg^{-1}$ ]	NPSER
NPSHD [ $m$ ]	NPSHR
<b>Disponible</b>	<b>Requis</b>
Installation	Donné par le constructeur

Condition de cavitation : Pas de cavitation si  $NPSHD > NPSHR$  /10

$$NPSHD = \frac{p_A - p_{vap\ sat}}{\rho g} - (z_E - z_A) - \frac{c_E^2}{2g} - h_{f_{A-E}}$$

/10

$$NPSHD = \frac{101325 - p_{vap\ sat}(20^\circ)}{1000 * 9.81} - 6 - \frac{2.6}{2 * 9.81} - h_{f_{A-E}}$$

$$c_{E_{lu}} = 2.6 \quad c_E = \left( \frac{q_v}{\frac{\Pi \Phi^2}{4}} \right)^2 \approx 2.65258238$$

/10

à lire Figure 2  $\left\{ \begin{array}{l} h_{tuy} = 10,5 * \frac{3}{100} = 0,315 \text{ m} \quad /10 \\ h_{clapet} = 58 * \frac{2,6}{2,5} = 60,32 \text{ cm} \quad /10 \\ h_{coude} = 4,4 * \frac{2,6}{2,5} = 4,576 \text{ cm} \quad /10 \end{array} \right\} \Rightarrow h_{f_{A-E}} \approx 0,96396 \text{ m} /10$

$$NPSHD \approx 2,784 \text{ m}$$

/10

à lire Figure 1  $NPSHR \approx 4,2 \text{ m}$

/10

$NPSHD < NPSHR \Rightarrow$  Risque de cavitation

/10

### 3 Solution : Exercice 3

1. -  $\frac{N_m}{N_r} = \lambda = r_{pont} \cdot r_{boite}$  d'où  $r_{boite} = \frac{\lambda}{r_{pont}} = \frac{N_m}{N_r \cdot r_{pont}}$  /5
- $N_m = 3000 \text{ tr/min}$  d'où  $\omega_m = 3000 * \frac{2\Pi}{60} \approx 314,16 \text{ rad.s}^{-1}$
- $\omega_r = \frac{v_{veh}}{r}$  avec  $v_{veh} = \frac{v}{3,6}$  où  $v = 80 \text{ km/h}$
- $N_r = \omega_r * \frac{60}{2\Pi}$

$$r_{boite} = \frac{N_m}{N_r \cdot r_{pont}} = \frac{N_m}{\omega_r * \frac{60}{2\Pi} \cdot r_{pont}} = \frac{N_m}{\frac{v_{veh}}{r} * \frac{60}{2\Pi} \cdot r_{pont}} = \frac{N_m}{\frac{v}{3,6 * r} * \frac{60}{2\Pi} \cdot r_{pont}} = \frac{N_m * 3,6 * r * 2\Pi}{v * 60 * r_{pont}}$$

$$r_{boite} = \frac{360 * \Pi * 0,34}{70 * 3,95} \approx 1,39$$

/10

2. (a) Couple

- $\rho_{air} = \frac{P}{R_{air.T}} \approx 1,2$
- $R_1 = mg(A + B \cdot v_{veh}^2) = 1435 * 9,81 * (8 \cdot 10^{-3} + 1,6 \cdot 10^{-5} * \frac{70^2}{3,6}) \approx 197,78 \text{ N}$
- /5
- $R_2 = \frac{1}{2} \rho S C_x (v_{veh} + v_{vent})^2$
- $R_2 = \frac{1}{2} * \frac{101325}{288 * (18 + 273,15)} * 2,27 * 0,33 * (\frac{70 + 50}{3,6})^2 \approx 502,89 \text{ N}$  /5
- $R_4 = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) = m \cdot g \cdot \sin(\arctan(\text{pente}))$
- $R_4 = 1435 * 9,81 * \sin(\arctan(0,04)) \approx 702,99 \text{ N}$  /5
- $R_{veh} = R_1 + R_2 + R_4 \approx 1403,66 \text{ N}$  /10
- $P_{veh} = R_{veh} * v_{veh} \approx 27293 \text{ W}$  /10
- $P_e = \frac{P_{veh}}{\eta_{tr}} + \frac{P_a}{\eta_{acc}} \approx 29912 \text{ W}$  /10
- $M_e = \frac{P_e}{\omega_m} \approx 95,21 \text{ Nm}$  /10

- (b) Consommation

- $C_s = \frac{P_e}{\eta_{the} \cdot P_{cal}} \approx 2,732 \cdot 10^{-3} \text{ kg.s}^{-1}$  /10
- $C = \frac{C_s}{\rho_{carb} \cdot v_{veh}} \approx 1,873 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} = 18,73 \text{ l/100km}$  /10
- $C = \frac{P_e}{\eta_{the} \cdot P_{cal} \cdot \rho_{carb} \cdot v_{veh}} \approx 1,873 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} = 18,73 \text{ l/100km}$

- (c) Puissance de réserve

- $P_{reserve} = P_{max} \text{ a } 3000 \text{tr/min} - P_e = 43430 - P_e$  /10
- $P_{reserve} \approx 13518 \text{ W}$