

CORRIGE

Ces éléments de correction n'ont qu'une valeur indicative. Ils ne peuvent en aucun cas engager la responsabilité des autorités académiques, chaque jury est souverain.

PARTIE 1 : MÉCANIQUE DES FLUIDES – TRANSFERTS THERMIQUES

1.1 Déterminez les caractéristiques physiques de l'eau glycolée

La température à laquelle doivent être prise les caractéristiques est la température moyenne du fluide. Donc, pour $T = -1,5 [^{\circ}\text{C}]$ et $\xi = 0,3$, la lecture sur les abaques amène :

λ	ρ	μ	C_p	Pr
$[\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}]$	$[\text{kg/m}^3]$	$[\text{Pa}\cdot\text{s}]$	$[\text{kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}]$	$[-]$
0,47	1055	$5\cdot 10^{-3}$	3,6	38

1.2. Vérifiez que le nombre de Reynolds $Re = 1660$

$$V = \frac{4Q_V}{\pi D^2} = \frac{4 \times 0,583}{3600 \times \pi \times [(32 - 2 \times 2,9) \times 10^{-3}]^2} = 0,3 [\text{m/s}]$$

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{1055 \times 0,3 \times (32 - 2 \times 2,9) \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-3}} = 1658$$

1.3. A partir de la corrélation entre Nu , Re et Pr , déterminez la valeur du coefficient de convection h de l'eau dans le tube. On a bien $Re < 3000$ donc on peut appliquer la corrélation donnée.

$$Nu = 0,247 Re^{0,4} Pr^{0,4} = 0,247 \times (1658 \times 38)^{0,4} = 20,53$$

$$Nu = \frac{hD}{\lambda} \text{ donc } h = \frac{\lambda Nu}{D} = \frac{0,47 \times 20,53}{(32 - 2 \times 2,9) \times 10^{-3}} = 368,3 [\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}]$$

1.4. Calculez la résistance thermique globale entre l'eau glycolée et le sol.

$$R_{\text{conduction bentonite}} = \frac{\ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)}{2\pi\lambda_{\text{bentonite}}} = \frac{\ln\left(\frac{2 \times 30 + 32}{32}\right)}{2\pi \times 1,15} = 0,146 [\text{m}\cdot^{\circ}\text{C/W}]$$

$$R_{\text{conduction PER}} = \frac{\ln\left(\frac{32}{32 - 2 \times 2,9}\right)}{2\pi \times 0,15} = 0,212 [\text{m}\cdot^{\circ}\text{C/W}]$$

$$R_{\text{cv}} = \frac{1}{\pi D h} = \frac{1}{\pi \times (32 - 2 \times 2,9) \times 10^{-3} \times 368,3} = 0,033 [\text{m}\cdot^{\circ}\text{C/W}]$$

$$R = R_{\text{conduction bentonite}} + R_{\text{conduction PER}} + R_{\text{convection}} = 0,146 + 0,212 + 0,033 = 0,391 [\text{m}\cdot^{\circ}\text{C/W}]$$

1.5. Déterminez le flux récupérable par mètre linéaire de tube

On considère que la surface extérieure de la bentonite est à la température du sol, donc :

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R} = \frac{10 - (-1,5)}{0,391} = 29,4 [\text{W/m}]$$

1.6. Déterminez le nombre de forage

La profondeur de forage = 80 [m], donc :

la longueur de tube par sonde = $2 \times 80 = 160$ [m/sonde]

La puissance à capter = 50,5 [kW], donc le nombre de forage est égal à :

$$N_{\text{sondes}} = \frac{50500}{29,4 \times 160} = 10,7 = 11 \text{ sondes}$$

PARTIE 2 : CLIMATISATION

1) $j=H/M$

Pour un occupant la charge hydrique est $0.059/2500= 2.3610^{-5}$ [kge/s]

Charges hydriques dues aux occupants: $2.3610^{-5} \cdot 104= 2.4510^{-3}$ [kge/s]

$$j= -35/2.4510^{-3}=-6122 \text{ [kJ/kge]}$$

d'où le tracé de la droite de soufflage sur le DAH.

Calcul de h_s :

A partir de $H= q_{mas} \cdot (h_i - h_s)$ et $q_{mas}= 4000/0.84=4762$ [kgas/h] on obtient $h_s= 50,4$ [kJ/kgas]

D'où le point S.

2)

a) Le débit volume d'air neuf et d'air vicié est égale à 2000 [m^3/h].

En première approximation les débits massiques sont égaux.

L'efficacité de l'échangeur devient:

$$\varepsilon = \frac{T_E' - T_E}{T_i - T_E}$$

Avec une efficacité de 60% on obtient $T_E' = 6$ [$^{\circ}C$]

b) Cf DAH

c) $Q_{mAN} = 2000/0,73 = 2740$ [kgas/h]

D'où $P = q_{mAN} \cdot (h_E' - h_E) = 2740/3600 \cdot (9+13) = 16.8$ [kW]

3) Le taux d'air neuf est égale à $2740/4762 = 58\%$.

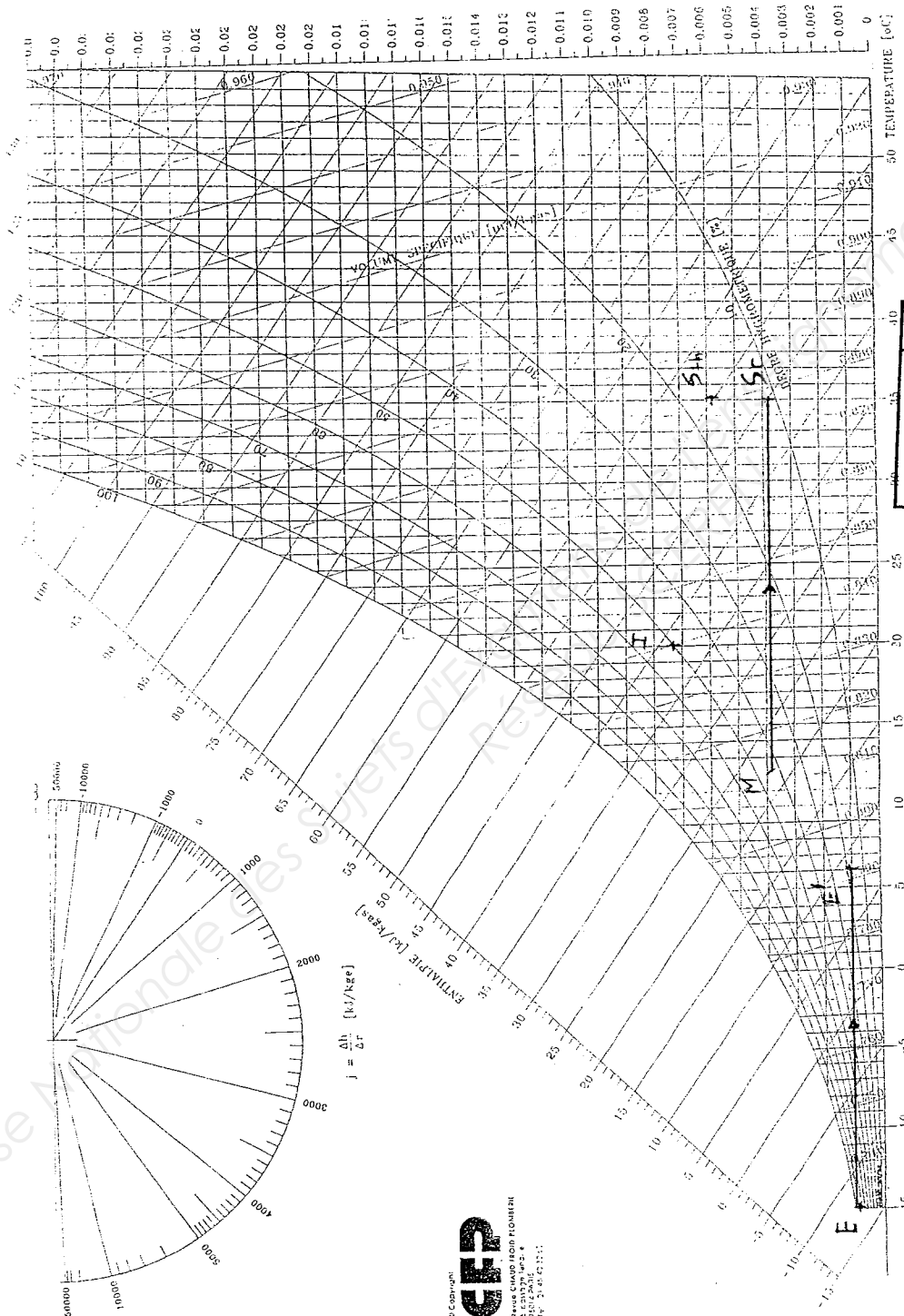
On en déduit graphiquement le point M sur le DAH.

4) Au vu de la CTA(cf schéma de principe) il n'y a pas d'humidificateur(hygrométrie non contrôlée) d'où l'évolution sur le DAH. On obtient ainsi le point Sr.

5) Il y a dérive de l'hygrométrie intérieure ϕ_i (diminution). De toute façon ϕ_i n'est pas contrôlée.

6) $P = q_{mAS} \cdot (h_{Sr} - h_M) = 4762/3600 \cdot (45-22) = 30.4$ [kW].

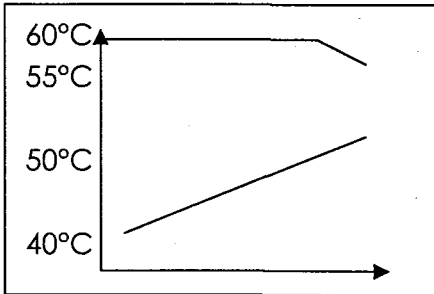
Points	Θ_s [°C]	ϕ [%]	h [kJ/kgas]	r [kge/kgas]
Sth	35	18	50.4	0.0059
E'	6	19	9	0.001
M	12	42	22	0.0038
Sr	35	11	45	0.0038



PARTIE 3 : PERFORMANCES PAC

3.1 $P_k, \theta_k, P_o, \theta_o$

côté condenseur :

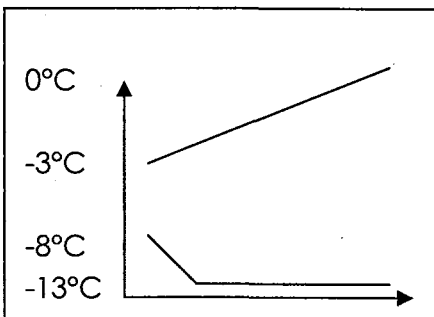


Sur le diagramme R407C :

$P_k \text{ abs} = 24 \text{ bars}$

$P_k \text{ eff} = 23 \text{ bars}$

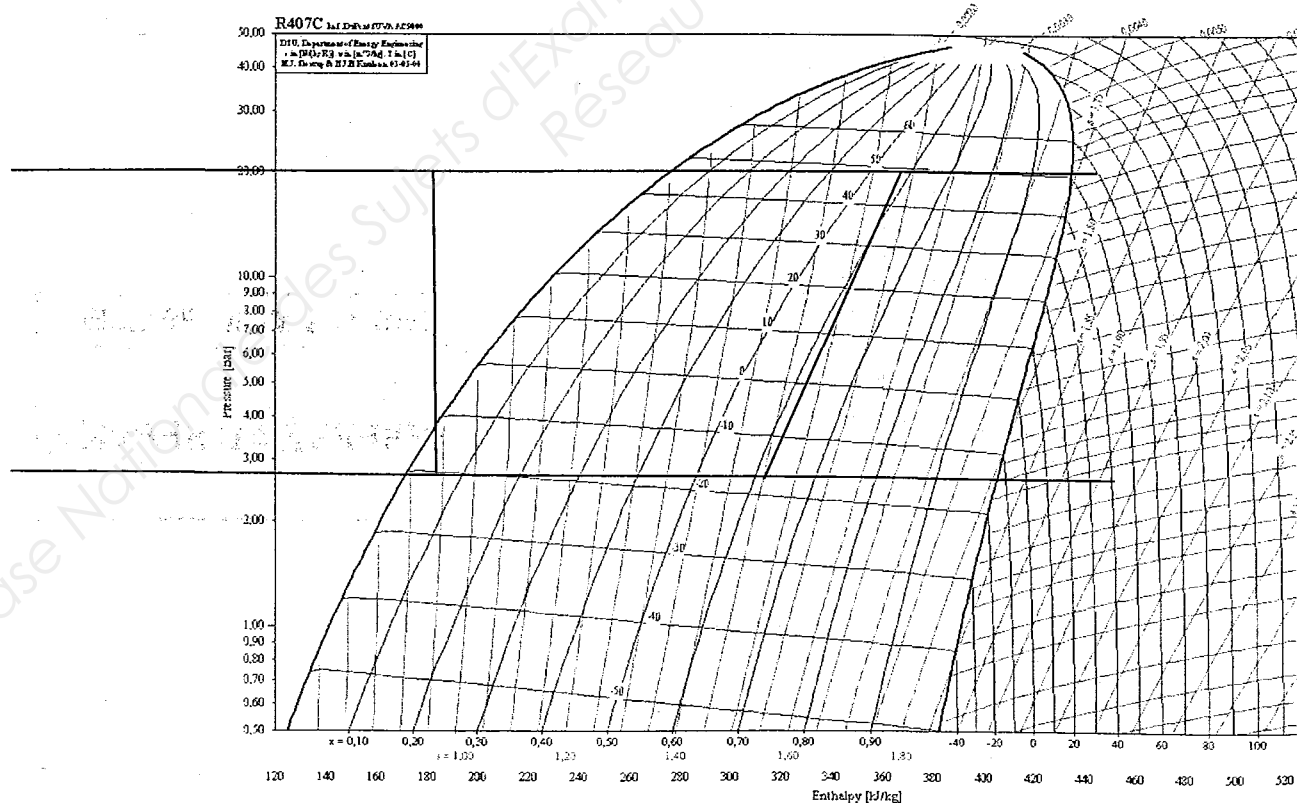
côté évaporateur :



Sur le diagramme R407C :

$P_o \text{ abs} = 2.7 \text{ bars}$

$P_o \text{ eff} = 3.7 \text{ bars}$



3.2 Tracé du cycle :

Les 4 points caractéristiques du cycle du fluide frigorigène.

point	Pression P bar abs	Température θ °C	Volume spécifique v m ³ /kg	Enthalpie massique h kJ/kg	Titre x
1	3,5	0	0.072	412	1
2	25	75		460	1
3	25	47		278	0
4	3,5	-11		285	0,46

3.3 COP théorique et COP réel

θ_k moyen = 55 °C et θ_o moyen = - 8 °C

$$\text{COP théorique} = \frac{T_k}{T_k - T_o} = \frac{55 + 273}{55 + 8} = 5.2$$

$$\tau = P_k / P_o = 25 / 3.5 = 7.14, \quad \eta_v = 1 - 0.05 \cdot \tau = 1 - 0.05 \times 7.14 = 0.643$$

$$\text{COP réel} = \eta_m \eta_v \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} = 0.9 \times 0.66 \frac{460 - 278}{460 - 412} = 2.25$$

3.4 Coefficient $\gamma \cdot V$

$$\text{Dep} = \gamma \cdot V (\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext base}})$$

$$\gamma \cdot V = \text{dep} / ((\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext base}}))$$

$$\gamma \cdot V = 72 / (19 + 15) = 2.117 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

3.5 Consommation annuelle de chauffage.

$$\text{Consommation calorifique } C = 24 \cdot \gamma \cdot V \cdot D_{J19} \cdot i = 24 \times 2,117 \times 2900 \times 0.70 = 103140,24 \text{ kWh}$$

3.6 Consommation électrique par les deux PAC

$$C \text{ électrique} = \text{Consommation calorifique} / \text{COP} = 32231,32 \text{ kWh}$$

3.7 Emission de CO₂

Energie consommée par la chaudière fioul :

$$\text{Consommation calorifique} / \text{rendement chaudière} = 103140,24 / 0,94 = 109723,65 \text{ kWh PCI}$$

$$\text{Quantité de litres de fioul} = 10972,365 \text{ litres}$$

$$\text{Emission de CO}_2 \text{ par la chaudière fioul} = 300 \times 109723,65 = 32917095 \text{ grammes de CO}_2$$

Soit 32,9 tonnes de CO₂

Emission de CO₂ des PAC :

$$C \text{ électrique} \times 180 \text{ g/kWh} = 32231,32 \times 180 = 5801637.6 \text{ grammes de CO}_2 = 5,8 \text{ tonnes}$$

L'émission de CO₂ évité par les PAC est de 32,9 – 5,8 = 27,1 tonnes

PARTIE 4 : TRAITEMENT D'EAU

Détermination du pH :

$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$ et $[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}$ en mol/l.

$[\text{OH}^-] = 2,69 \cdot 10^{-3}$ mg/l ; $M_{\text{OH}^-} = 17$ g/mol.

D'où : $[\text{OH}^-] = 1,58 \cdot 10^{-7}$ mol/l et $[\text{H}_3\text{O}^+] = 6,33 \cdot 10^{-8} \rightarrow \text{pH} = 7,2$.

Détermination du TH :

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{146 \times 2 \times 5}{40} = 36,5 \text{ °f}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = \frac{9,80 \times 2 \times 5}{24} = 4,08 \text{ °f}$$

D'où : $[\text{TH}] = 40,58 \text{ °f}$

Détermination du TA et TAC :

$[\text{CO}_3^{2-}] = 0 \text{ °f}$ et $[\text{OH}^-] = \frac{2,69 \cdot 10^{-5}}{17} * 1 * 5 = 7,91 * 10^{-4} \text{ °f}$: négligeable d'où $\text{TA} = 0 \text{ °f}$.

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] = 0 + 0 + \frac{486,8 \times 1 \times 5}{61} = 39,9 \text{ °f}$$

Principe de fonctionnement :

C'est un procédé de traitement destiné à éliminer la dureté de l'eau par échange d'ions.

1^{ère} phase : Adoucissement :

L'eau passe sur un lit de résine cationique, préalablement chargée de sodium (Na), qui échange les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}), responsables de la dureté de l'eau, contre des ions sodium (Na^+).

L'eau adoucie (débarassée des ions calcium et magnésium) sort de l'appareil avec un TH de 0°f. L'opération se déroule jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'ions sodium sur la résine. On dit que la résine est saturée.

Pour permettre un nouvel échange, il faut recharger les résines avec des ions sodium et la débarrasser des ions calcium et magnésium. Cette opération s'appelle la régénération.

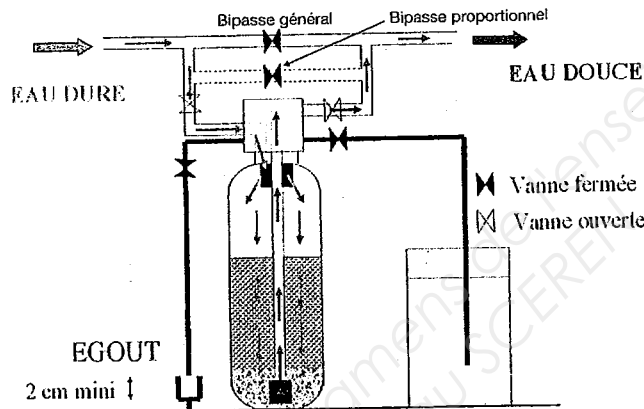
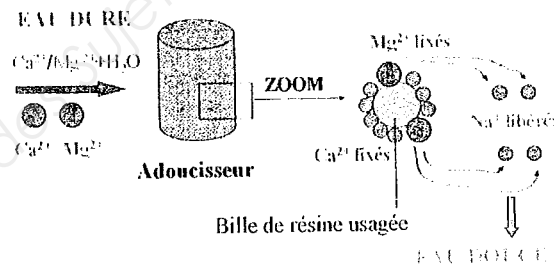


Schéma de principe d'un adoucisseur

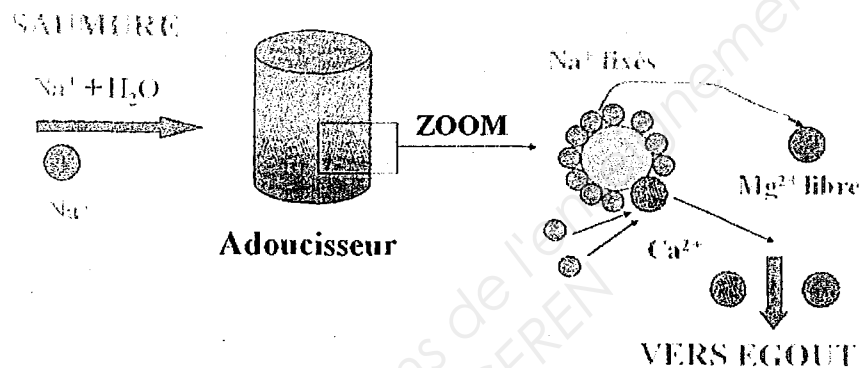


2^{ème} phase : Régénération :

Cette régénération s'effectue avec du chlorure de sodium (NaCl) équivalent au sel de table mais présenté sous forme de pastilles de 15 à 25 mm.

La résine est mise en contact avec une eau fortement salée : les ions sodium se fixent à nouveau sur la résine tandis que les ions calcium et magnésium sont évacués à l'égout sous forme de chlorures de magnésium et de calcium.

● Principe de la régénération (ou saumuration)



Dimensionnement de l'adoucisseur :

Le débit d'eau traversant l'adoucisseur est de 1,5 m³/h

$$\Delta TH = 40,58 - 0 = 40,58^{\circ}f$$

En une journée la capacité d'échange est de :

$$C = 40,58 \times 1,5 = 60,87^{\circ}f.m^3$$

Choix : Permo 6000 A4X Control : modèle 6016.

PARTIE 5: ACOUSTIQUE

5.1)

fréquence	63	125	250	500	1000	2000	4000	Global
Lp (dB)	46	30	33	42	42	28	9	
Pond A	-26	-16	-8.6	-3.2	0	1.2	1.1	
Lp dBA	20	14	24.4	38.8	42	29.2	10	
Lp - pond local (4db)	16	10	20.4	34.8	38	25.2	6	39,9

fréquence	63	125	250	500	1000	2000	4000	Global
Lp (dB)	46	30	33	42	42	28	9	
Lp - Pond local	42	26	29	38	38	24	5	

On place les points sur les courbes ISO → niveau inférieur à critère ISO 40.

5.2)

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R_1} \right) \rightarrow L_w = L_p - 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R_1} \right) = L_p + 2,57 \text{ pour chaque fréquence}$$

fréquence	63	125	250	500	1000	2000	4000	Global
Lw (dB)	49.6	33.6	36.6	45.6	45.6	31.6	12.6	

5.3)

fréquence	63	125	250	500	1000	2000	4000	Global
Lw ventilo (dB)	54	49	47	52	36	38	38	
∑ atténuation	0	0	10	20	30	30	30	
Lw rémanent venti	54	49	37	32	6	8	8	
Lw bouche	49.6	33.6	36.6	45.6	45.6	31.6	12.6	
Somme source	55.3	52	47.4	52	36	36	38	