

Un ascenseur qui vous mène en bateau

1. Présentation

2. Analyse du besoin actuel et future

Q1

Soit :

- N_c : nombre de camions nécessaires ;
- m_p : masse de la marchandise d'une péniche ;
- m_c : masse de la marchandise d'un camion.

$$N_c = m_p / m_c = 300 / 25 = 12 . 12 \text{ camions en moins sur les routes.}$$

Soit :

- C_{pt} : consommation totale de la péniche sur son parcours ;
- C_p : consommation d'une péniche pour 100 km, par tonne ;
- d_p : distance parcourue par la péniche en km.

$$C_{pt} = C_p \times d_p / 100 \times m_p = 942 \text{ litres}$$

Soit :

- C_{pt} : consommation totale du camion sur son parcours ;
- C_c : consommation d'un camion pour 100 km, par tonne ;
- d_c : distance parcourue par le camion en km.

$$C_{pc} = C_c \times d_c / 100 \times m_c = 1197 \text{ litres}$$

Avantage environnemental : gain en carburant

Inconvénient majeur : durée du transport, nécessité de camions entre le port et la destination de la marchandise.

3. Première solution envisagée : extension des horaires d'ouverture

Q2

soit :

- $N_{\text{juillet-août}}$: nombre de bateaux à transporter en juillet août ;
- P : pourcentage du trafic ;
- N_t : nombre de bateaux à transporter par an.

$$N_{\text{juillet-août}} = P \times N_t = 60 / 100 \times 12\,000 = 7\,200 \text{ bateaux}$$

Calcul du nombre de bateaux maximal qui peut être transporté actuellement (N_{max}) :

soit :

- N_h : nombre d'heures d'ouverture par jour, actuellement ;
- N_j : nombre de jours ;
- N_c : nombre de cycles par heure ;
- N_{bc} : nombre de bateaux par cycle.

$$N_{max} = N_h \times N_j \times N_c \times N_{bc} = 8 \times 31 \times 2 \times 3 \times 3 = 4\,464 \text{ bateaux}$$

$$N_{max} < N_{juillet-août} \text{ donc le plan incliné n'est pas capable d'assurer le trafic prévisible.}$$

Calcul du nombre d'heures supplémentaires par jour :

Soit :

- N_{sup} : nombre d'heures supplémentaires quotidiennes.

$$N_{juillet-août} = (N_h + N_{sup}) \times N_j \times N_c \times N_{bc}$$

$$\text{Il vient : } N_{sup} = N_{juillet-août} / (N_j \times N_c \times N_{bc}) - N_h = 7200 / (31 \times 2 \times 3 \times 3) - 8 = 4,9 \text{ heures}$$

Q3!

Les horaires ne sont pas compatibles avec les habitudes des touristes, car ces presque 5 heures supplémentaires par jour nécessiteraient d'ouvrir le plan incliné très tôt, ou de le fermer tard.

4. Modélisation multiphysique du plan incliné

Q4!

$$\|\vec{V}(bac/dalle)\| = 0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$N_{moteur} = \|\vec{V}(bac/dalle)\| / (D_T / 2 \cdot \pi / 30 \cdot R_{rp} \cdot R_{rs} \cdot Z_{pignon} / Z_{roue})$$

$$N_{moteur} = 0,6 / (3,62 / 2 \times \pi / 30 \times 0,18 \times 0,15 \times 14 / 182) = 1525 \text{ tours} \cdot \text{min}^{-1}$$

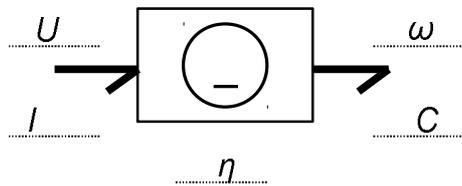
Cette valeur est conforme à la donnée constructeur ($N_{moteur-N} = 1500 \text{ tours} \cdot \text{min}^{-1}$)

Q5!

$$\|\vec{V}(bac/dalle)\| = 0,004 \cdot U_G = 0,004 \times 144 = 5,76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Soit un écart de 4 %, qui reste inférieur à l'écart maximal admis de 5 %.

Q6.



$$\text{Vitesse angulaire nominale : } \omega_N = \frac{2 \cdot \Pi \cdot N_{\text{moteur-N}}}{60} = \frac{2 \times \Pi \times 1500}{60} = 157 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

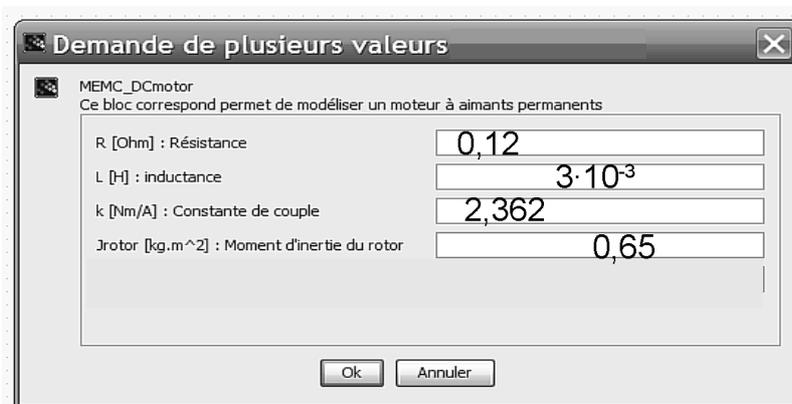
$$\text{Couple nominal : } C_N = \frac{P_{uN}}{\omega} = \frac{88000}{157} = 560 \text{ N}$$

$$\text{Puissance absorbée nominale : } P_{aN} = U_N \cdot I_N = 400 \times 243 = 97200 \text{ W} = 97,2 \text{ kW}$$

$$\text{Rendement nominal : } \eta_N = \frac{P_{uN}}{P_{aN}} = \frac{88}{97,2} = 0,9 = 90 \%$$

$$\text{Constante k : } k = \frac{U_N - R \cdot I_N}{\omega_N} = \frac{400 - 0,12 \times 243}{157} = 2,362$$

Q7.



Q8.

Sans bateau dans le bac, le volume d'eau est égal à V_{total} . D'où une masse de chargement du bac égale à : $m_{ch \text{ bac}} = V_{total} \cdot \rho_{eau}$

Avec un bateau dans le bac, le volume total ne change pas mais se répartit entre le volume immergé et le volume d'eau encore présent dans le bac.

D'où la masse de chargement du bac : $m_{ch \text{ bac}} = (V_{total} - V_{immergé}) \cdot \rho_{eau} + m_{bateau}$

Or l'équilibre dynamique du bateau, sur l'axe vertical donne :

$$-P(\text{bateau}) + F(\text{eau} \rightarrow \text{bateau}) = 0 \text{ . Soit } -m_{\text{bateau}}g + V_{\text{immergé}} \cdot \rho_{\text{eau}} \cdot g = 0$$

$$\text{d'où } m_{\text{bateau}} = V_{\text{immergé}} \cdot \rho_{\text{eau}} \text{ et } m_{\text{ch bac}} = V_{\text{total}} \cdot \rho_{\text{eau}}$$

La masse de chargement du bac, et donc la masse totale du bac est indépendante de la masse des bateaux transportés.

Q9!

Montée : le poids des bacs est résistant, le poids des contrepoids est moteur

Descente : le poids des bacs est moteur, le poids des contrepoids est résistant

En montée, les contrepoids participent à l'effort moteur.

En descente, les contrepoids « freinent » le mouvement des bacs, et facilitent son contrôle.

L'utilisation de contrepoids, qui participent à l'effort moteur, permet de minimiser la puissance des moteurs.

Q10!

En montée, le bac possède une masse de 880 tonnes, les contrepoids une masse de 900 tonnes.

Pour garantir un fonctionnement similaire du moteur, on calcule la masse du bac pour garantir une même différence de masse.

Le bac devra donc posséder une masse de 920 tonnes, soit 40 tonnes de plus.

Soit Δh la différence de niveau entre la montée et la descente

$$\Delta h \cdot S_{\text{bac}} \cdot \rho_{\text{eau}} = m_{\text{bac}} \text{ soit } \Delta h = m_{\text{bac}} / (S_{\text{bac}} \cdot \rho_{\text{eau}}) = 40000 / (200 \times 1000) = 0,2 \text{ m}$$

Q11!

Soit $n_{\text{câbles}}$ le nombre de câbles et $l_{\text{câbles}}$ la longueur des câbles.

$$m_{\text{câbles}} = n_{\text{câbles}} \cdot l_{\text{câbles}} \cdot m_l = 28 \times 110 \times 4,14 = 12751 \text{ kg}$$

Q12!

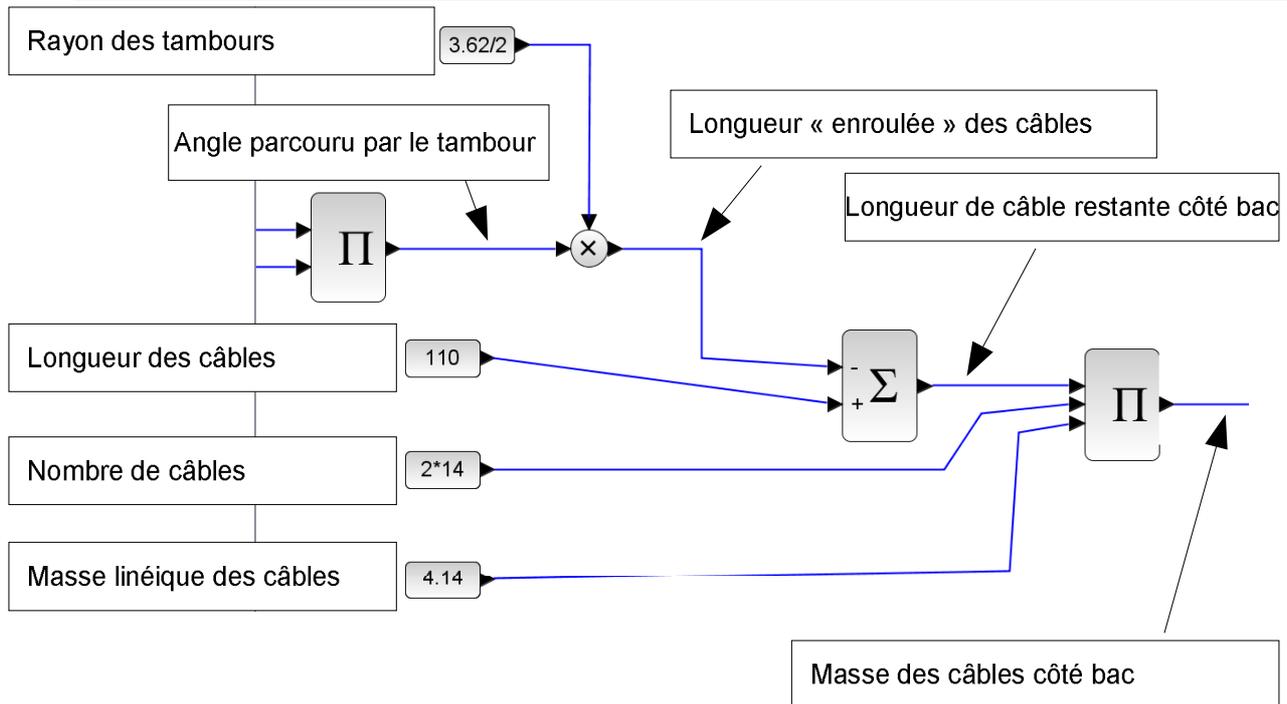
Au début du mouvement, le bac est en bas, la quasi totalité de la longueur des câbles se situe entre les tambours et le bac. Le poids des câbles s'ajoute à celui du bac. Le poids des câbles est résistant.

Au fur et à mesure de la montée, les câbles se retrouvent entre les tambours et les contrepoids. Le poids des câbles s'ajoute à celui des contrepoids. Le poids des câbles devient moteur.

Q13.

Au cours de la montée du bac, une longueur de câbles croissante se situe entre les tambours et les contrepoids. L'effort moteur exercé par le poids des câbles s'accroît donc progressivement, ce qui soulage les moteurs. Cela se traduit par une baisse de l'intensité de leur alimentation.

Q14.



Q15.

Le principe fondamental de la dynamique donne :

$$-\|\vec{P}(bac) \cdot \cos(\alpha)\| + Y_{B'(rail \rightarrow bac)} + Y_{A'(rail \rightarrow bac)} = 0$$

$$\text{donc } Y_{B'(rail \rightarrow bac)} + Y_{A'(rail \rightarrow bac)} = \|\vec{P}(bac) \cdot \cos(\alpha)\|$$

$$\text{Or } Y_{B'(rail \rightarrow bac)} + Y_{A'(rail \rightarrow bac)} = (X_{B'(rail \rightarrow bac)} + X_{A'(rail \rightarrow bac)}) / \tan(\beta)$$

$$\text{On en déduit : } X_{B'(rail \rightarrow bac)} + X_{A'(rail \rightarrow bac)} = m_{bac} \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot \tan(\beta)$$

Q16.

$$X_{B'(rail \rightarrow bac)} + X_{A'(rail \rightarrow bac)} = m_{bac} \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot \tan(\beta) = 880 \times 10^3 \times 9,81 \times \cos(22) \times 0,001 = 8004 \text{ N}$$

8 004 N représente 0,27 % de l'effort exercé par les câbles.

La résistance au roulement du bac sur les rails n'est pas un paramètre vraiment influent du système.

Q17.

Vitesse simulée : $0,56 m \cdot s^{-1}$

Vitesse mesurée : $144 \times 0,004 = 0,576 m \cdot s^{-1}$

soit un écart de $-0,016 m \cdot s^{-1}$, et un écart relatif de 2,8 % (inférieur à 5%)

I_{moteur} simulée : variation de 125 A à 119 A

I_{moteur} mesurée : environ 120 A

soit un écart négligeable (inférieur à 5%)

Le modèle paraît valide.

5. Deuxième solution pouvant être envisagée : mise en œuvre d'un second bac, solidaire du premier

Q18.

L'intensité dans le moteur ($I_{\text{max}} = 190 A$) ne dépasse jamais l'intensité nominale ($I_N = 243 A$). Le moteur est adapté au fonctionnement avec deux bacs.

Q19.

Il est possible de diminuer la valeur de l'accélération.

Q20.

Valeur maximale de l'effort exercé sur les câbles : $7,8 \times 10^6 N$

Méthode de calcul :

- première étape : calcul de l'effort auquel est soumis chaque câble, avec une hypothèse d'un effort uniformément réparti sur chacun des 28 câbles ;
- deuxième étape : calcul du rapport entre la charge minimale à la rupture et la valeur de l'effort calculé.
- troisième étape : comparaison de ce rapport (coefficient de sécurité) avec le coefficient de sécurité $s = 5$.

Q21.

Soit F la force exercée sur chaque câble. $F = F_{\text{maxi relevée}} / n_{\text{câbles}} = 7,8 \times 10^6 / 28 = 278,5 kN$

Soit F_m la charge à la rupture. $s = F_m / F = 652 / 278,5 = 2,34$

Ce coefficient étant inférieur à 5, l'utilisation de ces câbles n'est pas envisageable.

Q22.

Même en présence d'un seul bateau, les deux bacs doivent être mis en mouvement. Cette solution manque souplesse vis à vis de l'évolution quotidienne du trafic.

6. Troisième solution pouvant être envisagée : mise en œuvre d'un second bac indépendant du premier

Q23.

Nombre de tours du codeur : $N_{btours} = 4096$

Distance maximale mesurable : $DIS_{max} = 4096/36,83 = 111 \text{ m}$

$DIS_{max} > \text{Longueur dalle} = 108,65 \text{ m}$

Le capteur est donc pertinent pour relever la position du bac .

Q24.

Vitesse de rotation du capteur : $N_{cap-max} = 0,6 \times 36,83 = 22,1 \text{ tr}\cdot\text{s}^{-1}$

Résolution du capteur : $Re_{cap} = 8192 \text{ pts tr}^{-1}$

Valeur enregistrée : $VE_{reg} = N_{cap-max} \cdot Re_{cap} = 22,1 \times 8192 = 181026 \text{ pts}\cdot\text{s}^{-1}$

Valeur maximale enregistrable : $VE_{reg-max} = 2^{31} - 1 = 2147483647 \text{ pts}\cdot\text{s}^{-1}$

Comparaison : $VE_{reg-max} \gg VE_{reg}$

Fréquence maximale des signaux : $fs_{max} = 800000 \text{ Hz}$

Comparaison : $fs_{max} = 800000 \text{ Hz} > fs = 181026 \text{ Hz}$

Le capteur est pertinent pour relever la vitesse de déplacement du bac.

Q25.

Valeurs binaires enregistrées :

Registre	Donnée (binaire)														
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Registre	Donnée (binaire)														
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Q26.

Modèle OSI

Couche	Désignation
7	MODBUS
6 : Présentation	X
5 : Session	
4	TCP
3	IP
2	Ethernet
1	100 Base T

Q27.

Nombre d'adresses disponibles : $NB_{AD} = 256 - 49 - 2 = 206$ adresses

Classe d'adresses utilisée : Classe C privée (8bits pour les adresses machines) bien adaptée au type et à la taille du réseau.

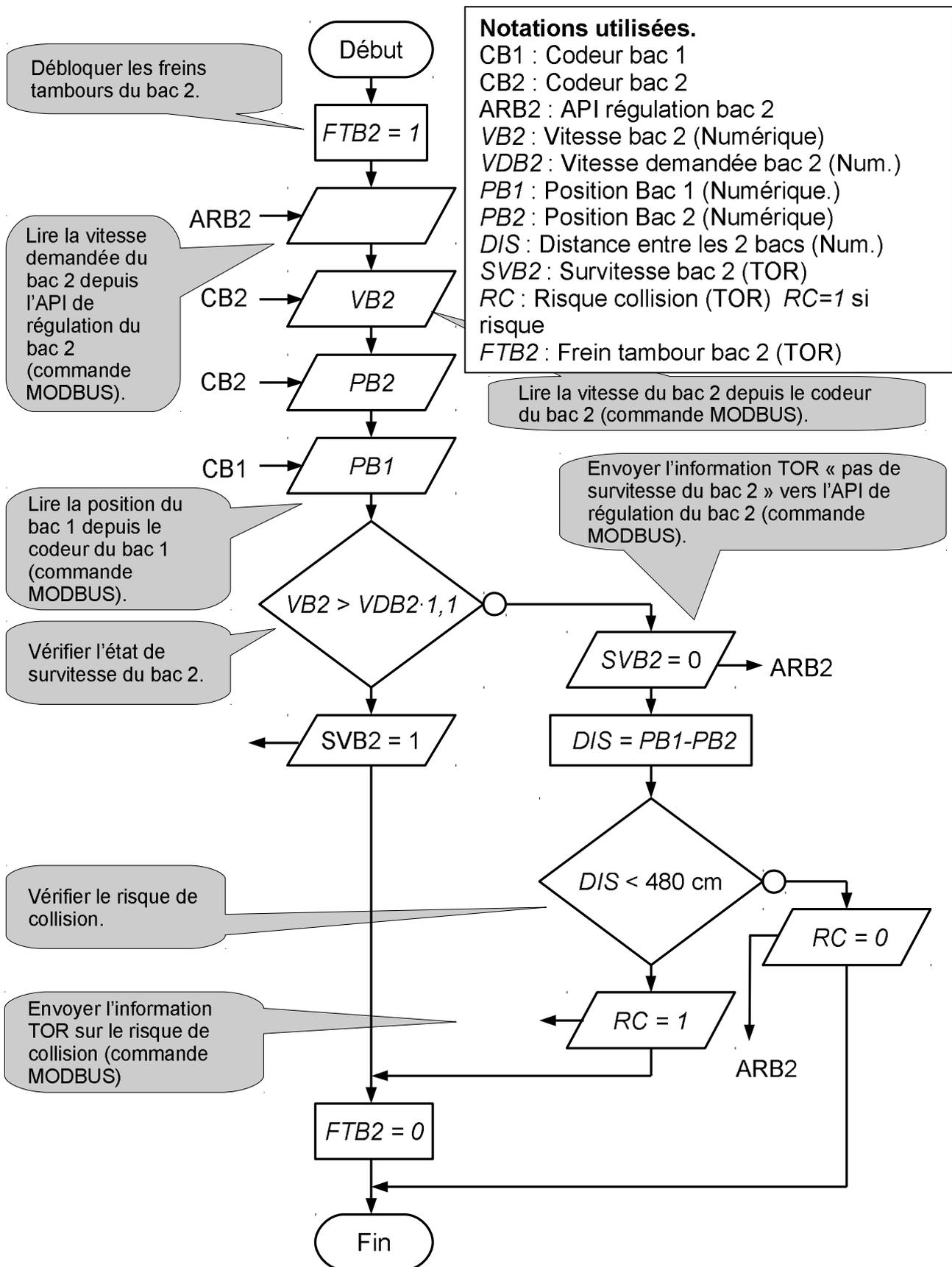
Adressage des composants du bac 2 :

Élément	Adresse IP	Masque
	192.168.1.50	255.255.255.0
	192.168.1.51	255.255.255.0
	192.168.1.52	255.255.255.0
	192.168.1.53	255.255.255.0

Q28.

Lecture de la position : code MODBUS \$03 ; Numéros des registres 0 et 1

Lecture de la vitesse : code MODBUS \$03 ; Numéros des registres 2 et 3



Q29.

Le réseau dispose d'un nombre suffisant d'adresses disponibles pour accueillir les 4 éléments connectés du deuxième bac. La sécurité des personnes est assurée par les API de sécurités qui arrêtent le bac2 en cas de survitesse et de risque de collision avec le bac1.

7. Synthèse

Q30.

Solution 1, extension des horaires d'ouverture :

- + Aucune modification nécessaire sur l'installation. Solution rapide et facile à mettre en place...
- Mal adaptée au trafic touristique (horaires décalés). Personnel supplémentaire, frais de fonctionnement

Solution 2, association d'un deuxième bac solidaire :

- + Bien adaptée au trafic touristique en haute saison. Personnel inchangé...
- Modification de l'installation (Tambours, câbles, bac, contrepoids). Impact financier de mise en place. Manque de souplesse (déplacement inutile de 2 bacs lors des périodes creuses)...

Solution 3, Deuxième bac indépendant :

- + Très souple et adaptée au trafic touristique en toute saison. Personnel inchangé...
- Importante modification de l'installation existante (chaîne d'énergie et d'information) avec un fort impact financier de départ...

Le trafic sur le canal est devenu principalement de type « touristique estival ». De plus une progression continue est attendue les prochaines années. La solution 3 apparaît comme la plus performante à long terme, du fait d'un potentiel de transport doublé et d'une grande souplesse de fonctionnement.