

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL
SÉRIE SCIENTIFIQUE
ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Session 2015

Corrigé

Traitement de l'eau des piscines privées par procédé électrochimique.

2. Pourquoi traiter l'eau d'une piscine privée ?

Objectif de cette partie : **analyser** le besoin à l'origine de la conception du système de traitement de l'eau.

Q1. Exprimer la fonction principale du système MEGAMATIC™. À l'aide du tableau fourni dans le document technique DT1, **justifier** la préconisation par les fabricants de piscines du traitement par électrolyse au sel (5 à 6 lignes au maximum).

La fonction principale du système Mégamatic est d'assurer la désinfection de l'eau d'une piscine afin de garantir la bonne hygiène de la baignade .

Contrairement au traitement par oxygène actif, l'électrolyse au sel est complet (désinfectant, fongicide, et contre les algues). Par rapport au brome et au chlore, il n'y a pas besoin de rajouter du produit de traitement régulièrement. De plus l'électrolyse au sel n'est pas irritant et est inodore.

Q2. À l'aide du document technique DT2, **calculer** l'indice d'équilibre de cette eau. **Conclure** en précisant dans ce cas étudié, le paramètre qui influence sur l'équilibre de l'eau.

TH : 30° → indice 2,2 ; TAC : 12,5 indice → indice 1,8 ; pH 7,5

indice = 2,2 + 1,8 + 7,5 = 11,5 l'eau est proche de l'équilibre il faut la surveiller en recalculant l'indice d'équilibre régulièrement.

Le facteur influant est le pH puisque les autres caractéristiques de l'eau (TH et TAC) ne dépendent que de la localisation géographique de la piscine (vu DT2).

3. Quels sont les éléments constitutifs d'un système de traitement de l'eau ?

Objectif de cette partie : **analyser** le schéma de l'installation du système de traitement de l'eau.

Q3. Préciser le rôle des constituants principaux de l'installation (voir figure 1) en complétant le tableau fourni dans le document réponse DR1.

Voir DR1.

4. Comment produire un désinfectant par électrolyse ?

Objectif de cette partie : **analyser** le procédé de désinfection.

Q4. Pour déterminer la valeur de l'intensité du courant électrique qui doit traverser l'électrolyseur :

- **calculer** la masse de NaClO à produire lors d'une journée de baignade avec une eau à 23 °C, puis le nombre de moles équivalent à cette production ;
- **relever** à partir du document technique DT3, le temps de production du chlore par 24 heures en fonction du volume de la piscine ;
- **calculer** l'intensité du courant électrique à partir du temps de production.
- Le volume d'eau à traiter est 110 m³.

Il faut produire 1 mg·L⁻¹ de NaClO par 24 heures afin de traiter correctement une eau à 23 °C. Pour 110 m³, il faut donc produire 110 000 mg = 110 g d'hypochlorite de sodium par 24 heures.

La masse molaire (donc d'une seule mole) de l'hypochlorite de sodium (NaClO) étant 74,5 g·mol⁻¹ :

74,5 g de NaClO → 1 mole

110 g de NaClO → 1,48 moles

Il faut produire 1,48 moles de NaClO par 24 h.

- Dans le tableau 1 du DT3 pour 110 m³ à traiter avec le système MEGAMATIC™110 le tableau révèle que la production de désinfectant durera 13h30 par 24h pour une eau à 23°C. 13h30 = 48600 secondes.
- Dans l'électrolyseur, 96 500 C permettent d'obtenir 1 mole de NaClO (la constante de Faraday vaut 96 500 C·mol⁻¹). Il faudra donc 142820 C pour obtenir 1,48 moles de NaClO.

1 Ampère = 1 Coulomb par seconde. Dès lors, $I = \frac{142820}{48600} = 2,94 \text{ A}$.

Q5. D'après le tableau 2 du document technique DT3, à quel mode de production correspond la valeur de l'intensité du courant calculée à la question Q4 ?

On observe que le besoin de 2,94 A se situe dans la plage que propose le fabricant (2A – 4A). Le système fonctionne donc en production normale.

Q6. Après analyse des courbes fournies dans le document technique DT4, **indiquer** la durée approximative à ne pas dépasser entre deux inversions de polarité.

Par lecture graphique du document technique DT4 : pour une conductivité électrique minimale de 20% des électrodes en titane, il ne faut pas dépasser une épaisseur de dépôt environ 4,5 micromètres.

Cette épaisseur de dépôt de 4,5 micromètres est obtenue après un temps de fonctionnement de 150 minutes.

Il faut donc ne pas aller au-delà de 150 minutes de fonctionnement avant inversion des polarités.

Q7. Conclure quant au mode de production de chlore et à la fréquence d'entretien des électrodes.

Le système MEGAMATIC™ fonctionnera en « production normale » pour traiter la piscine salée de 110 m³. La fréquence d'entretien est limitée à cause de l'inversion de polarité des électrodes qui devra être réglée sur 150 minutes (2 h 30 min).

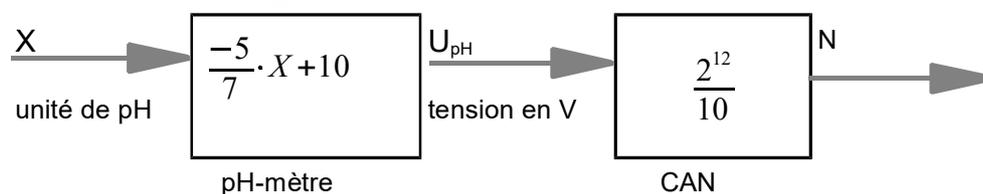
5. Comment réguler l'apport du correcteur de pH ?

Objectif de cette partie : après avoir étudié la façon dont s'effectue la mesure du pH, **analyser** et **vérifier** les performances de la pompe du correcteur de pH.

Q8. Préciser les grandeurs et la nature d'entrée et de sortie du capteur. **Justifier** l'emploi du CAN.

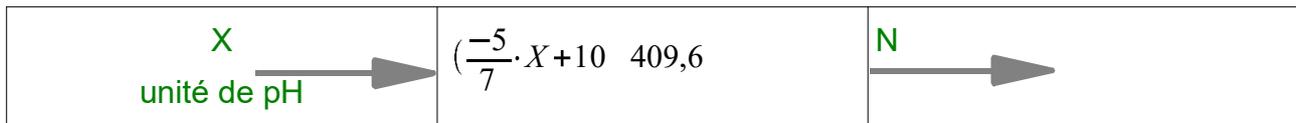
Le capteur mesure une variation de pH (= grandeur analogique) puis la convertit en tension image (= grandeur analogique) ; or, le PIC traite des données numériques d'où la nécessité d'un Convertisseur Analogique Numérique (CAN).

Q9. Déterminer, d'après la figure 5, la relation qui donne U_{pH} en fonction de X , pH de l'eau puis la relation donnant N en fonction de U_{pH} . **Calculer** la plus petite variation de pH mesurable par la chaîne de mesure. **Comparer** cette variation avec la précision annoncée. **Conclure** quant à la validité du système d'acquisition.



chaîne de mesure du capteur

Soit :



La plus petite variation de pH mesurable pour $\Delta N = N_n - N_{n-1} = 1$,

$$|\Delta N| = \left| \left[\left(\frac{-5}{7} \cdot X_n + 10 \right) \cdot 409,6 \right] - \left[\left(\frac{-5}{7} \cdot X_{(n-1)} + 10 \right) \cdot 409,6 \right] \right|$$

$$1 = \frac{(-5 \cdot 409,6)}{7} \cdot (X_n - X_{(n-1)}) \quad \text{soit } |\Delta \text{pH}| = 0,03$$

Le CDCF prévoit une précision de $\pm 0,1$; cette chaîne de mesure est donc largement validée.

Q10. Parmi les différents types de pompes (voir document technique DT5) **justifier** le choix du type péristaltique.

Au regard des avantages et inconvénients des différentes pompes apparaissant sur le DT5, la seule qui garantisse un dosage précis et qui isole le produit transféré des lubrifiants éventuels (évite sa pollution) est la pompe péristaltique.

Q11. Compléter le schéma sur le document réponse DR2, en indiquant la nature des puissances transmises par les différents composants et les grandeurs qui les définissent. **Préciser** l'unité de chacune des grandeurs.

Voir DR2.

Q12. Afin de renseigner le modèle multiphysique, **calculer** la cylindrée de cette pompe.

1380 mm³ de produit est isolé entre les deux galets et sera déplacé en un demi tour de pompe. La cylindrée vaut donc $2 \times 1380 = 2760 \text{ mm}^3$, soit 2760 mm³/tr.

Q13. Afin de renseigner le modèle multiphysique, **déterminer** la fréquence de rotation que doit avoir le porte-galets pour injecter 0,88 L de correcteur de pH.

Cylindrée x vitesse x temps = volume injecté dans la piscine

$$2,760 \text{ cm}^3 \times N \times 10 \text{ min} = 880 \text{ cm}^3 \quad \text{donc } N = \frac{880}{2,760 \times 10} = 31,88 \text{ tr/min}$$

Q14. Le fabricant de cette pompe indique un débit maximal de 6 L·h⁻¹. **Conclure** quant au dimensionnement de la pompe.

On vient de voir que la pompe doit envoyer 0,88 L en 10 minutes de fonctionnement, cela équivaut à envoyer par heure : $0,88 \times 6 = 5,28 \text{ L}$. Le débit de 6 L/h est suffisant donc le dimensionnement de la pompe est correct.

Q15. Calculer le rapport de transmission du réducteur en utilisant les données de la Figure 6.

D'après les valeurs du nombre de dents données à la figure 6, le rapport de transmission est de 10.

Q16. Relever le couple maximal et **justifier** la forme de la courbe du couple, ainsi que les valeurs en abscisse, en s'aidant de la figure 7f, de la figure 9 et du rapport de transmission défini à la Q15.

Les pics sont visibles tous les demi tours, chaque fois que les galets sont alignés sur l'horizontale. Cela correspond au fait que les deux galets écrasent le tuyau. Lorsqu'un seul galet est sollicité, le couple demandé au moteur est d'environ la moitié, observable sur l'axe des ordonnées. Cmax relevé sur la courbe vaut environ 80 mN.m

En abscisse, les valeurs portées correspondent à la position du moteur qui tourne 10 fois plus vite que la pompe (les pics sont placés en regard des demi tours de la pompe)

Q17. Valider le choix du moteur entraînant la pompe et **justifier** la réponse.

$C_{mot\ disponible} = 3,5 / (375 \times (2 \cdot \pi) / 60) = 0,089\ Nm$ soit 89 mN.m

89 > 80 (courbe). Le moteur fournit donc un couple suffisant. De plus sa vitesse de rotation 375 tr/min est convenable.

6. Comment garantir la sécurité des personnes ?

Objectif de cette partie : **justifier** les choix de matériels afin de respecter les normes de sécurité.

Q18. Au regard du tableau caractérisant les différents types d'élastomères (document technique DT6), **choisir** le matériau le plus adapté pour la fabrication du tuyau de la pompe. **Justifier** votre choix.

D'après la résistance aux acides faibles ou forts, le matériau le plus approprié est le caoutchouc butyle (IIR).

Q19. Sur le document réponse DR3, **tracer** les deux droites verticales correspondant aux valeurs limites du module de Young, puis **justifier** si l'élastomère choisi en réponse à la question Q18 répond au cahier des charges. **Calculer** la nouvelle valeur de l'indice de performance P_1 pour ce matériau puis **tracer** la nouvelle droite oblique correspondant aux iso-valeurs de ce nouvel indice.

Voir DR3

Les droites verticales relatives à $E = 1\ MPa$ et à $E = 10\ MPa$ encadrent la bulle du caoutchouc butyle (IIR), donc ce critère est vérifié. Le calcul de P_1 se fait dans la zone droite de la bulle, qui correspond à sa valeur minimale. $P_1 = 0,08 / (0,002 \cdot 10^3) = 0,04\ m^{1/2}$
 $0,04 > 0,018$ donc cette valeur est conforme au cahier des charges.

Q20. Justifier la possibilité d'utiliser un matériau comme l'isoprène (IR), à l'aide du document technique DT6 et de la nouvelle droite oblique de P_1 .

Conclure sur la validité de ce matériau choisi à la question Q18 au regard de l'indice de performance.

L'isoprène (IR) se situe entre les deux droites verticales correspondant aux valeurs limites du module de Young et est traversé par la droite oblique qui valide le fait que l'isoprène (IR) a le même indice de performance que le butyle (IIR). Le document technique DT6 permet de valider ce matériau qui possède des performances moins élevées que le butyle (IIR).

Le matériau en caoutchouc butyle (IIR) est donc validé.

Q21. Préciser, à partir de la Figure 11 b, la valeur de la tension de défaut U_D . **Calculer** le courant de défaut I_D engendré.

À cet instant, l'utilisateur touche la carcasse comme indiqué. **Calculer** le courant traversant l'utilisateur. À partir des résultats et du document technique DT 7, **conclure** quant à la validité du système de protection.

La tension de défaut est une tension entre la phase L1 et la terre donc $U_D = 230 \text{ V}$.

En appliquant la loi d'ohm, $I_D = \frac{U_D}{R_{eq}}$ avec $R_{eq} = \frac{RA \cdot RH}{(RA + RH)}$

$$AN : R_{eq} = \frac{100 \cdot 1000}{(100 + 1000)} = 90,9 \Omega \quad I_D = \frac{230}{90,9} = 2,5 \text{ A}$$

En appliquant la loi d'ohm, $I_H = \frac{U_D}{RH}$ AN : $I_H = \frac{230}{1000} = 0,23 \text{ A}$

La mise à la terre seule n'est pas une protection suffisante. Le courant traversant l'utilisateur est dangereux. Le stade de la paralysie respiratoire est atteint. Il est donc nécessaire de mettre un disjoncteur différentiel avec une sensibilité de 30 mA pour protéger l'utilisateur de ce type de défaut.

7. Synthèse générale et optimisation.

Objectif de cette partie : présenter une synthèse du travail réalisé et proposer une optimisation du système.

Q22. Parmi les avantages annoncés par le fabricant, **citer** ceux que les études précédentes ont permis de valider.

Le système est économique sur la durée puisqu'il ne faut pas racheter de produit supplémentaire pour produire le désinfectant. L'électrolyse permet d'obtenir des composés naturels et l'inversion de polarités permet d'avoir un cycle quasi infini. De plus le système assure la régulation automatique du pH de l'eau (mesure et apport de correcteur). Ceci garantit l'autonomie du système.

Q23. À partir du retour du service après-vente (SAV) donné dans le document technique DT8, **proposer** une optimisation du produit pour les deux cas non résolus.

Exemples de réponses :

- mise en place d'une pompe à sel
- mise en place d'un capteur de niveau bas de correcteur de pH

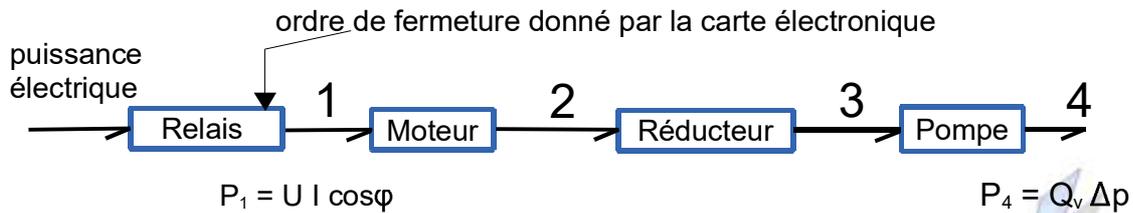
tout autre idée réaliste et ingénieuse est à valoriser !

corrige

Document réponse DR1.

Composant	Fonction (à compléter)	Pour information
Pompe de circulation	assurer la circulation de l'eau de la piscine	pompe centrifuge alimentée en 230 V
Filtre à sable	Filtrer les impuretés solides de l'eau de la piscine.	volume moyen 40 L
PAC	Chauffer l'eau de la piscine.	élément optionnel
Cellule d'électrolyse	Produire un désinfectant naturel à partir de sel.	électrodes en titane
Sonde pH	Mesurer le pH de l'eau.	
Pompe du correcteur de pH	Injecter du correcteur de pH dans l'eau de piscine.	alimentée en 230 V
Réservoir de correcteur de pH	Stocker le correcteur de pH.	bidon de 20 L
Coffret électrique de la piscine	Informez l'utilisateur et protégez les différents composants du système.	permet la lecture des informations

Document réponse DR2.



Compléter pour les points repérés ci-dessus :

Nature de P_1	Nature de P_2	Nature de P_3	Nature de P_4
P. électrique	P. méca de rot.	P. méca de rot.	P. hydraulique

Définir l'expression de la puissance :

$$P_1 = U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad P_2 = C_2 \cdot \omega_2 \quad P_3 = C_3 \cdot \omega_3 \quad P_4 = Q_v \cdot \Delta p$$

Préciser l'unité de chacune des grandeurs : U en [V] ; I en [A] ; C en [Nm] ;
 ω en [rad/s] ; Q_v en [m^3/s] ; Δp en [Pa] ; P en [W]

Corrigé

Document réponse DR3.

