

DOSSIER REPONSES

Les 5 parties qui constituent ce sujet sont indépendantes et de poids sensiblement identique au niveau de la notation.

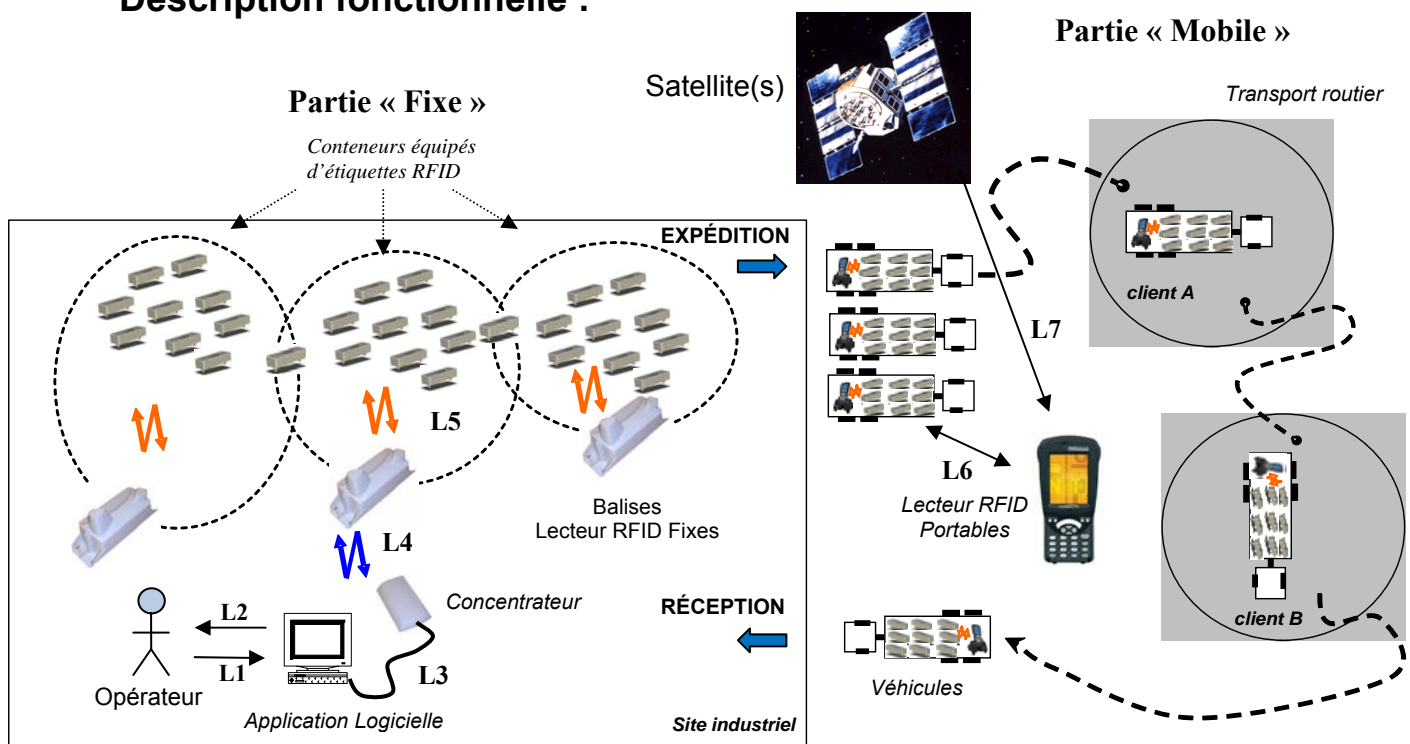
- 1 – Mise en situation – page 2
- 2 – Géo-localisation des étiquettes – page 14
- 3 – Transmission des signaux par modulation FSK – page 21
- 4 – Surveillance de la tension batterie – page 30
- 5 – Détection de mouvement par accéléromètre – page 39

Partie 1 - Mise en situation -

Objectif : On se propose de justifier les choix technologiques du concepteur du système **ID-TREL**. Pour cela, vous devrez :

- préciser la nature des liaisons internes au système ;
- estimer la durée d'une demande d'identification d'une étiquette ;
- valider l'utilisation d'étiquettes RFID actives ;
- justifier le choix du protocole de communication de liaison radio utilisé sur les critères de portée et de consommation ;
- justifier les indices de protection des étiquettes.

Description fonctionnelle :



- L'équipement RFID fixe installé sur le site industriel :
 - récupère quotidiennement les mouvements enregistrés par les lecteurs RFID portables au cours des tournées en clientèle ;
 - inventorie l'encours des contenants équipés d'étiquette RFID sur site ;
 - assure la mise à jour permanente des bases de données.
- Chaque lecteur RFID portable assure la continuité de la traçabilité tout au long de la tournée en clientèle :
 - en clientèle, l'avancement de la tournée est supervisé par GPS, ainsi chaque entrée et chaque sortie en clientèle sont horodatées par le lecteur RFID portable ;
 - lors du retour en zone de réception, le lecteur RFID portable indique sur son écran les contenants à isoler pour maintenance et transfère au système les mouvements de la tournée (bons de dépôt et reprise archivés lors de la tournée) pour mise à jour des bases de données.

Conditions : Pour répondre aux questions relatives à cette partie, vous disposez des documents suivants :

- Présentation du système ID-TREL ;
- Annexe 1 DT2 - Spécifications techniques générales du système ;
- Annexe 2 DT3 - Système GPS ;
- Annexe 3 DT4 - Indices de protection.

1 - Description des liaisons du système -

En combinant les technologies RFID et GPS, le système ID-TREL rend plus efficace la logistique de suivi de contenants réutilisables circulant entre un site industriel et des clients distants. Il utilise pour cela différentes fréquences porteuses du spectre électromagnétique.

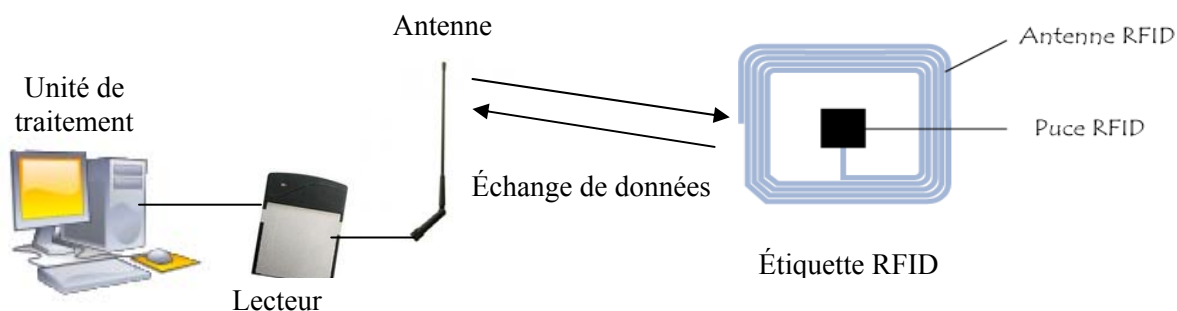
Q1 - Compléter le tableau ci-dessous, en précisant la nature des liaisons (filaire ou non filaire) repérées de L3 à L7 sur le graphique de la page précédente. (mettre une croix dans les cases concernées)

| Nature \ Liaisons | L3 | L4 | L5 | L6 | L7 |
|-------------------|----|----|----|----|----|
| Filaire | | | | | |
| Non filaire | | | | | |

Q2 - Préciser la/les fréquence(s) porteuse(s) des liaisons non filaires repérées précédemment.

2 - Technologie RFID -

L'abréviation **RFID** signifie « *Radio Frequency IDentification* » ; en français, « *Identification par Radio Fréquence* ». Cette technologie permet d'identifier un objet, d'en suivre le cheminement et d'en connaître les caractéristiques à distance grâce à une étiquette, attachée ou incorporée à cet objet. Cette étiquette de type radiofréquence (nommée *transpondeur RFID*, *étiquette RFID* ou *Tag RFID*), est composée d'une puce reliée à une antenne, et encapsulées dans un support (*RFID Tag* ou *RFID Label*). Elle est lue par un lecteur qui capte l'information et la transmet à une unité de traitement.

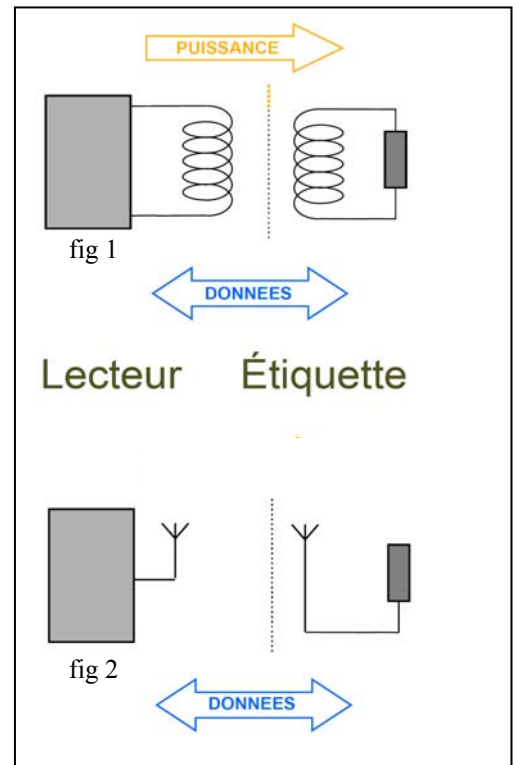


Exemples d'applications opérationnelles d'étiquettes RFID :

- traçabilité de bouteilles de gaz ;
- suivi de colis ;
- suivi de vêtements de travail loués ;
- identification d'animaux : remplace le tatouage ;
- gestion des livres d'une bibliothèque ;
- identification de wagons.

Les dispositifs de type RFID sont classés de la manière suivante :

- dispositif **passif**, représenté figure 1 :
Les étiquettes ne comportent pas de source d'alimentation, et pour assurer leur bon fonctionnement, elles sont télé-alimentées par l'énergie (champ magnétique par exemple) produite et fournie par le lecteur ;
- dispositif **actif**, représenté figure 2 :
Les étiquettes comportent à leur bord une source locale d'alimentation indépendante, leur donnant des possibilités fonctionnelle plus importantes, notamment en ce qui concerne la portée de la communication. Ils fonctionnent comme des postes classiques d'émission et de réception radio.



Dans le cas d'un **couplage magnétique**, le transfert d'énergie est effectué à l'aide d'un champ magnétique alternatif $H(t)$ produit par la circulation d'un courant alternatif $I(t)$ dans l'antenne de la station de base selon la relation $H = N \times I$ (dans laquelle N représente le nombre de spires de l'antenne parcourues par le courant I).

L'induction associée est donnée par la relation $B = \mu \times H$ (où μ représente la perméabilité magnétique du milieu traversé). Cette perméabilité s'exprime par $\mu = \mu_0 \times \mu_r$ (où μ_0 représente la perméabilité du vide : $\mu_0 = 4.\pi.10^{-7}$, et μ_r la perméabilité du milieu traversé).

Pour une antenne de lecteur RFID circulaire de rayon r , de forme plate, de N spires ; en un point A_2 situé à une distance d sur l'axe (A_1, A_2), **dans l'air**, l'induction s'exprime par la relation suivante :

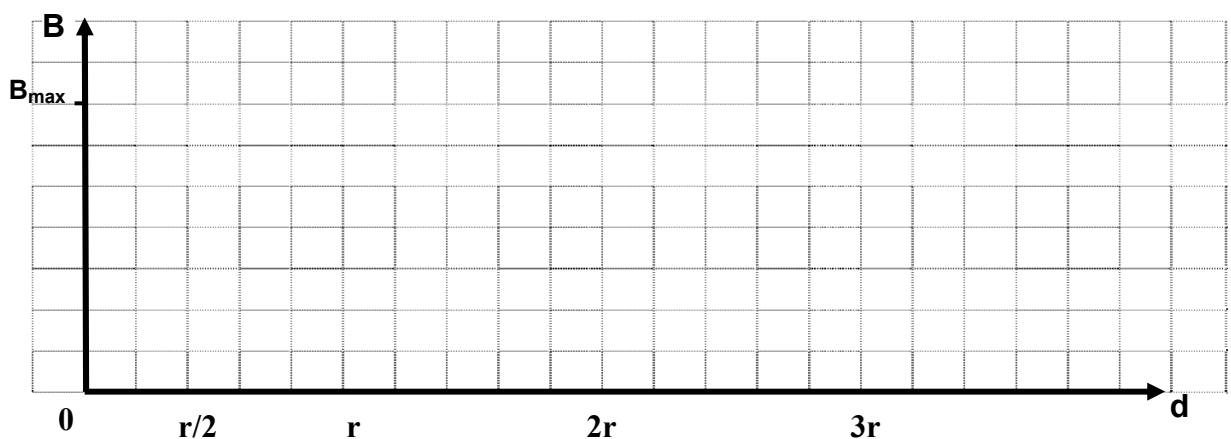
$$B(d, r) = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{2 \cdot r \cdot \left[1 + \left(\frac{d}{r} \right)^2 \right]^{3/2}}$$

Q3 - **Donner** l'expression littérale B_{\max} correspondant à B pour $d = 0$, puis **exprimer** B en fonction de B_{\max} .

Q4 - **En déduire** les valeurs de B en fonction de B_{\max} pour les distances suivantes :

| d | B |
|------------|----------|
| 0 | |
| r/2 | |
| r | |
| 2r | |
| 3r | |

Q5 - À partir des cinq calculs effectués précédemment, **esquisser** la caractéristique de l'induction B en fonction de la distance pour r constant.

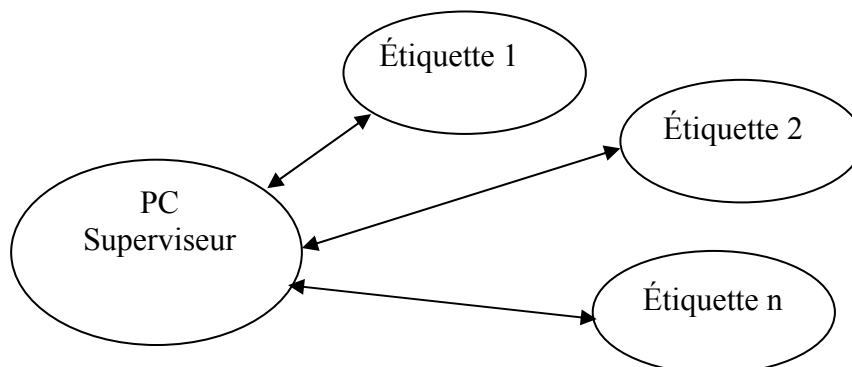


Q6 - Le diamètre de l'étiquette RFID est d'environ 5cm. Quelle **conclusion**, relative à la distance de détection peut-on déduire de ces résultats pour notre application pour laquelle nous rappelons que la distance de lecture est de 200m ?

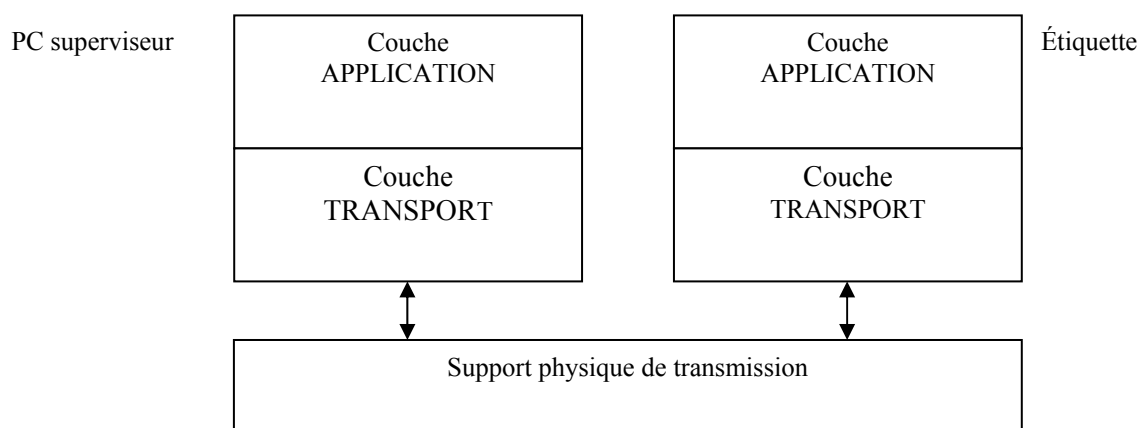
3 - Protocole de communication -

Dans le système ID-TREL, chaque étiquette RFID est dotée d'une intelligence qui lui permet de répondre à toute sollicitation, et de se signaler suite à un changement d'état de l'inclinomètre embarqué. Ce processus est rendu possible par un protocole d'activation séquentiel, durant lequel l'étiquette passe successivement d'un mode sommeil à un mode éveil. Ensuite, le mode « écoute /réponse » est éventuellement enclenché.

La communication entre le micro-ordinateur superviseur et les différentes étiquettes respecte les spécifications du protocole de communication RADIANT, acronyme de « **RAD**io **App**lication **Net**work ». L'architecture de ce type de réseau est représentée ci-dessous ; la communication est de type semi-duplex.

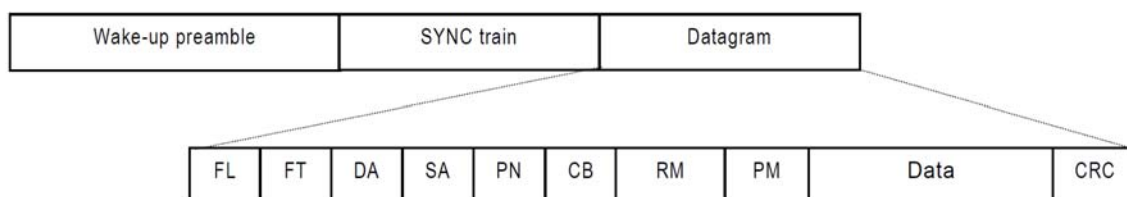


Le protocole de communication RADIANT peut être décrit par un modèle simplifié à 2 couches, issu du modèle OSI « **Open System Interconnection** » de l'ISO :



Lors de l'identification d'une étiquette, la séquence de transmission est constituée de trois champs, conformément à la figure ci-dessous. Lors de l'identification de plusieurs étiquettes, cette séquence est reproduite pour chacune d'elle.

La vitesse de transmission est de 2380 bits par seconde.



Description des trois champs qui constituent la séquence de transmission :

- **Wake-up preamble** (préambule de réveil) : séquence d'initialisation constituée d'une succession de niveaux logiques hauts et bas. Ce champ est utilisé dans les applications alimentées par batterie qui pour des raisons d'économie d'énergie, doivent être mises en veille, lorsqu'elles ne sont pas actives ;
- **SYNC train** (trame de synchronisation) : ce champ est utilisé pour assurer la synchronisation de débit de transmission de données entre les différents nœuds du réseau. Il est constitué de deux impulsions de durées calibrées ;
- **Datagram** : champ de données à transporter d'un nœud à l'autre.

Q7 - **Définir** le terme semi-duplex attribué à la communication au sein du système.

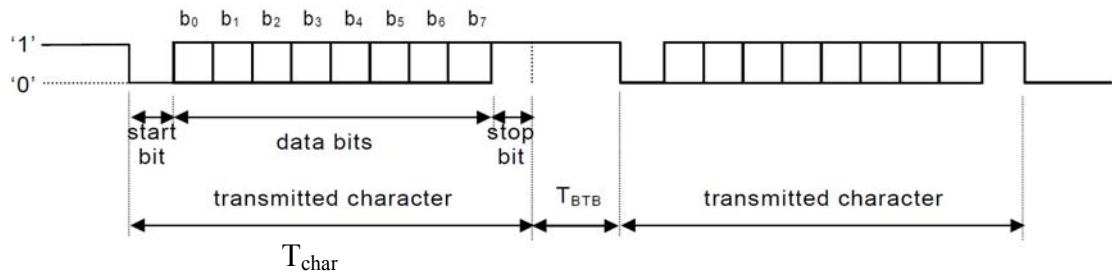
Q8 - Sachant que DA, adresse de destination, est codée sur 3 octets, **calculer** le nombre maximal d'étiquettes adressables.

Q9 - Sachant que le préambule de réveil est constitué d'une succession de 115 symboles logiques '1' et '0', **calculer** la durée T_1 de ce champ.

Q10 - Des extraits de caractéristiques temporelles de la trame de synchronisation sont donnés ci-après. **Calculer** sa durée T_2 minimale dans notre application.

| Data Rate | T_{TSYN0} | T_{TSYN1} | | |
|-----------|--------------|----------------|--|--|
| 2380 bps | 10 – 20 msec | 10 – 20 msec | | |
| 4800 bps | 10 – 20 msec | 5 – 9 msec | | |
| 9600 bps | 5 - 10 msec | 2.5 – 4.5 msec | | |

Q11 - Calculer la durée de transmission, T_{char} , d'un caractère appartenant au champ de données sachant que celle-ci est conforme au chronogramme suivant.



Q12 - Calculer la durée T_3 d'un champ de données constitué de 19 caractères, sachant que $T_{\text{BTBT}} = 20\text{ms}$ et qu'il n'y a pas de T_{BTBT} après le dernier caractère.

Q13 - Conclure en donnant, dans ce cas, la durée totale minimale d'une séquence d'identification de deux étiquettes.

4 - Portée d'une liaison Wifi -

Les protocoles de réseaux Hautes Fréquences tels que Bluetooth, Zigbee ou Wifi qui travaillent autour de 2,4 GHz peuvent être utilisés dans un système RFID actif. Nous allons vérifier si la portée du Wifi serait compatible avec notre application.

Pour ce faire, on rappelle les principales notations utilisées en radiofréquence :

Le décibel (dB) : Le décibel représente le rapport logarithmique entre deux niveaux de puissance. Dérivé du Bel (nommé ainsi en l'honneur du célèbre inventeur Alexander Graham Bell), le décibel correspond à 1/10 de Bel. Il est rappelé que le gain en puissance d'un quadripôle s'exprime ainsi :

$$G = 10 \cdot \log \left(\frac{P_s}{P_e} \right)$$

dBm : L'unité dBm indique des dB référencés à 1 milliwatt (un milliwatt = zéro dBm). Le passage d'une puissance en mW au dBm s'effectue ainsi :

$$P(\text{dBm}) = 10 \cdot \log \left[\frac{P(\text{mW})}{1\text{mW}} \right]$$

Prec, puissance reçue et **Pem**, puissance d'émission. En radiofréquence, ces deux puissances sont souvent exprimées en **dBm**.

Sensibilité : La sensibilité est la puissance exprimée en dBm (ou en mW) nécessaire pour qu'un récepteur radio puisse décoder le signal transmis (souvent de l'ordre de -70 à -120 dBm).

Atténuation de propagation : La perte de puissance entre un émetteur et un récepteur en espace libre est fonction de la distance séparant l'émetteur du récepteur et de la fréquence radio :

$$At = 20 \cdot \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right)$$

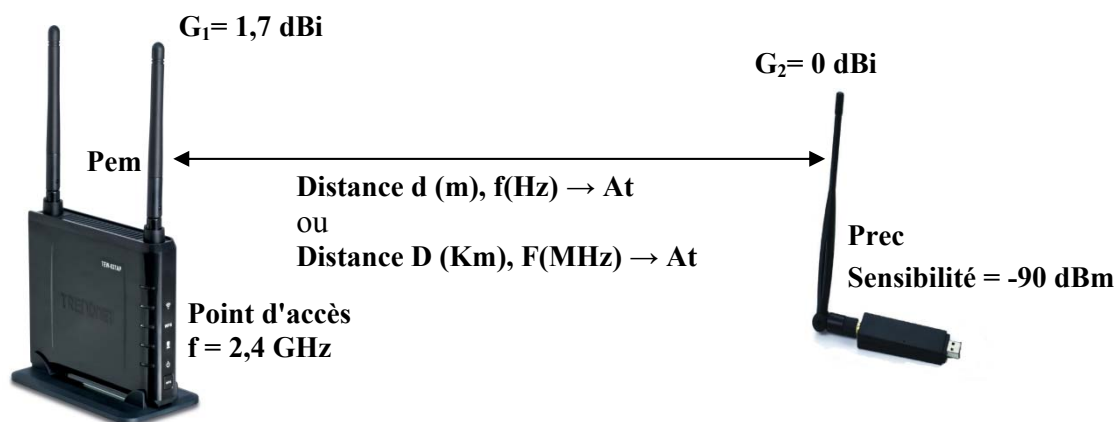
Avec : **d**, distance en mètres entre l'émetteur et le récepteur et **λ**, la longueur d'onde en mètres. La longueur d'onde se calcule ainsi :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Avec : **c**, célérité de la lumière ($3 \cdot 10^8$ m/s) et **f**, la fréquence en Hertz.

dBi : Gain relatif d'une antenne par rapport à une antenne isotrope équivalente (antenne rayonnant de façon uniforme dans toutes les directions), exprimé sur l'échelle logarithmique des décibels.

Dans la figure ci-dessous, G_1 est le gain de l'antenne d'émission et G_2 , le gain de l'antenne de réception. Ce schéma simplifié synthétise l'ensemble des données nécessaires à la réalisation du bilan d'une liaison radio en espace libre.



Le gain en puissance G d'une liaison radio, en champ libre, s'exprime ainsi :

$$G(\text{dB}) = - \text{Atténuation en espace libre}(\text{dB}) - \text{Atténuations diverses}(\text{dB}) + \text{Gains divers}(\text{dB})$$

Q14 - **Montrer** que l'atténuation de propagation peut se mettre sous la forme suivante :

$$At \approx 32,44 + 20.log(D \text{ en km}) + 20.log(F \text{ en MHz})$$

Vous allez déterminer la portée maximale de la liaison WiFi, en champ libre, en fonction de la puissance d'émission, de l'atténuation de propagation, des gains divers et de la sensibilité du récepteur :

La puissance maximale d'émission P_{em} en Wifi « extérieur » est de 10mW et la sensibilité du récepteur est de -90dBm.

Q15 - **Convertir** la puissance de 10mW en dBm.

Q16 - **Déterminer**, dans ces conditions, l'atténuation totale de propagation At (dB) maximale qui permet au récepteur de capter une puissance suffisante en fonction de sa sensibilité, de la puissance d'émission et du gain des antennes.

Q17 - **En déduire** l'atténuation maximale admissible en fonction de la distance d en kilomètres (Km).

Q18 - **Calculer** la distance maximale d en kilomètres (Km).

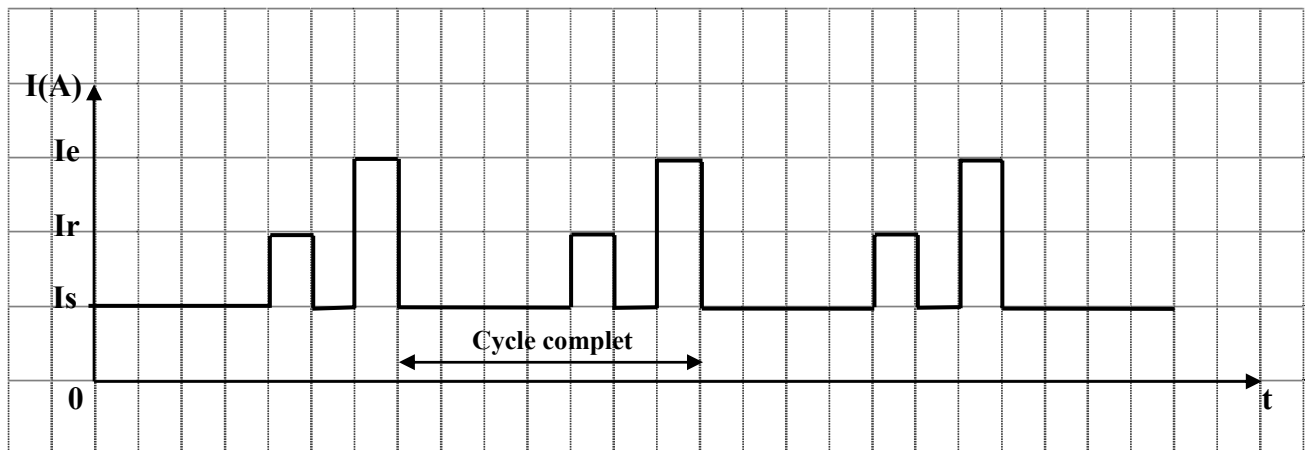
Q19 - **Conclure** quant à la possibilité ou non d'utiliser cette technologie dans le cadre de notre application, du point de vue de la distance ?

5 - Consommation de la liaison Radio -

Le protocole Wifi implique une communication permanente entre les différents équipements impliquant les valeurs de consommation suivantes :

- standby : $I_s = 10 \text{ mA}$;
- réception : $I_r = 85 \text{ mA}$;
- émission : $I_e = 250 \text{ mA}$.

Q20 - **Calculer** le courant moyen consommé par une étiquette, sachant que le cycle de « polling » (interrogation cyclique des étiquettes) est le suivant :



Q21 - Sachant que la capacité d'une batterie s'exprime en Ah, **déterminer** l'autonomie d'une étiquette RFID Wifi alimentée par une batterie de 3200 mAh.

Q22 - **Justifier** la non utilisation de cette technologie de transmission par le constructeur pour ses étiquettes.

6 - Indice de Protection -

Le constructeur déclare l'indice de protection IP65 pour le lecteur fixe et les indices IP68 et IK07 pour le lecteur portable.

Q23 - **Donner** la signification de l'indice de protection IP.

Q24 - **Préciser** le niveau de protection de chacun des lecteurs RFID du système et **justifier** la différence notable entre ces deux niveaux d'indices.

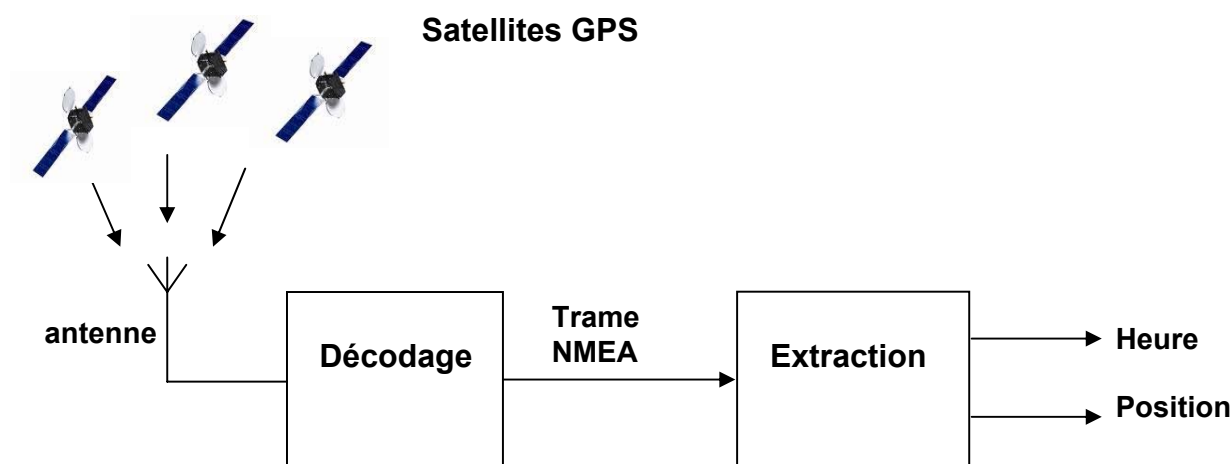
Q25 - **Définir** et **justifier** l'indice de protection IK du lecteur portable.

Partie 2 - Géolocalisation des étiquettes -

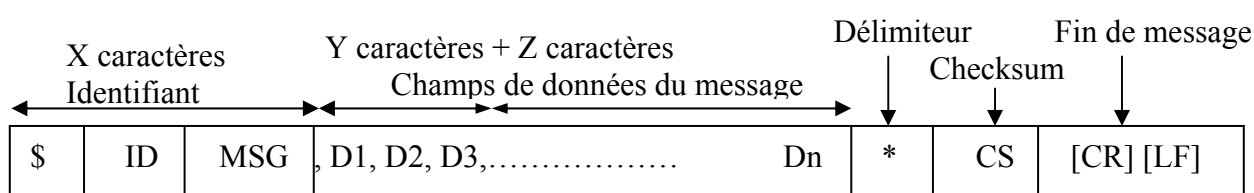
Objectif : On se propose d'étudier la procédure de géolocalisation d'une étiquette RFID par le système. Pour cela, vous devrez :

- mettre en évidence la nécessité de synchronisation de l'horloge du récepteur GPS avec celle de la flotte de satellites ;
- extraire la signature d'un satellite dans une trame numérique ;
- exploiter le contenu d'une trame conforme au protocole NMEA-0183 ;
- commenter la procédure logicielle d'extraction de l'heure de la géolocalisation ;
- adapter le format des informations à l'utilisation par un logiciel de cartographie ;
- déterminer l'erreur maximale de calcul de positionnement d'un contenant ;

Description fonctionnelle :



- la fonction **Décodage** fournit une trame série suivant le protocole NMEA, toutes les secondes ;
- la fonction **Extraction** délivre les informations d'heure et de position suivant le protocole NMEA dont les trames séries respectent le format suivant :



Conditions : Pour répondre aux questions liées à cette partie, vous disposez des documents suivants :

- Présentation du système ID-TREL ;
- Annexe 2 DT3 - Système GPS ;
- Annexe 4 DT5 - Protocole NMEA-0183 ;
- Annexe 5 DT6 - Manuel de Référence NMEA ;
- Annexe 6 DT8 - Tableau caractères ASCII ;
- Annexe 7 DT9 - Programme d'extraction de l'heure.

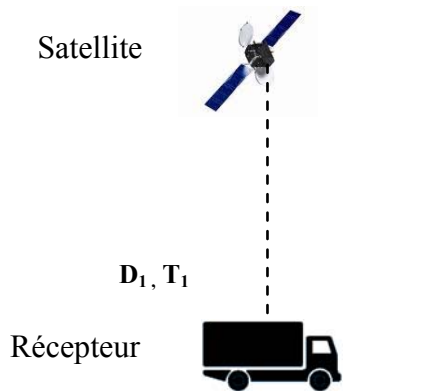
1 - Principe de fonctionnement du GPS –

Dans cette première partie, vous devrez déterminer l'erreur de positionnement liée à une éventuelle différence de synchronisation de l'horloge du récepteur GPS avec celle de la flotte de satellites.

Q1 - **Donner** le nombre de satellites nécessaires à une géolocalisation sans et avec l'altitude

Q2 - **Donner** la principale condition de bon fonctionnement d'un récepteur GPS.

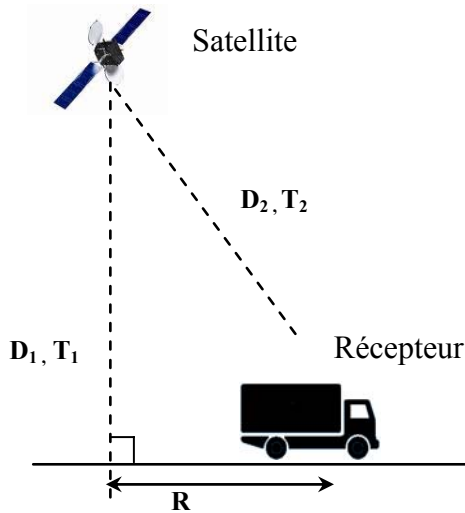
Q3 - **Exprimer** la durée de propagation T_1 , des ondes électromagnétiques émises par un satellite pour atteindre un point de la terre situé à sa verticale en fonction de D_1 (altitude du satellite) et de c (vitesse de propagation d'une onde électromagnétique).



Q4 - **Calculer** la valeur de T_1 , en vous référant à l'altitude des satellites (cf annexe2). On rappelle la vitesse de propagation d'une onde électromagnétique : $3 \cdot 10^8$ m/s.

Dans la réalité, le véhicule est rarement à la verticale d'un satellite. Nous allons donc calculer le rayon R , non nul, du cercle sur lequel est positionné un véhicule, connaissant le temps de propagation de l'onde électromagnétique. Pour faciliter les calculs, nous allons considérer que la terre est plate. L'altitude D_1 sera considérée stable.

Q5 - **Exprimer** R , le rayon du cercle lieu des positions possibles du récepteur GPS, en fonction de T_1 , T_2 et c .



Q6 - **Calculer** R , le rayon du cercle lieu des positions possibles du récepteur GPS, correspondant à une mesure de T_2 de 67,34ms.

Q7 - En supposant que l'horloge du récepteur GPS soit en retard d'une microseconde sur celle du satellite, **déterminer** le nouveau rayon R' . Quelle serait dans ces conditions l'erreur maximale de détermination de positionnement du véhicule (en kilomètres). **Conclure** sur la nécessité de synchronisme des horloges du système.

2 - Signature d'un satellite -

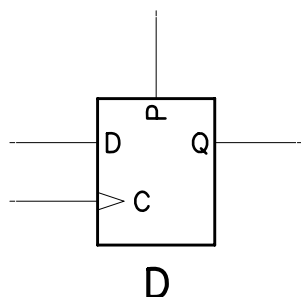
Les codes pseudo-aléatoires connaissent une application originale dans le cadre du système de localisation par satellites GPS. Ils sont utilisés parce qu'ils présentent une séquence connue et facilement identifiable ; ce qui permet ainsi de mesurer avec précision la distance entre le satellite et le véhicule.

La mesure de distance est réalisée en générant une séquence pseudo-aléatoire sur chacun des équipements (satellite et véhicule), que l'on supposera synchronisés, et donc générant la même séquence à la même fréquence. La séquence du satellite est alors modulée et transmise au récepteur, qui la compare à sa propre séquence. Il existe alors obligatoirement un décalage entre les deux séquences, qui correspond au temps de propagation de l'information du satellite vers le récepteur.

Il suffit alors de mesurer ce décalage, de le multiplier par la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans l'air pour obtenir la distance recherchée.

Rappel sur les bascules D :

- Symbole :



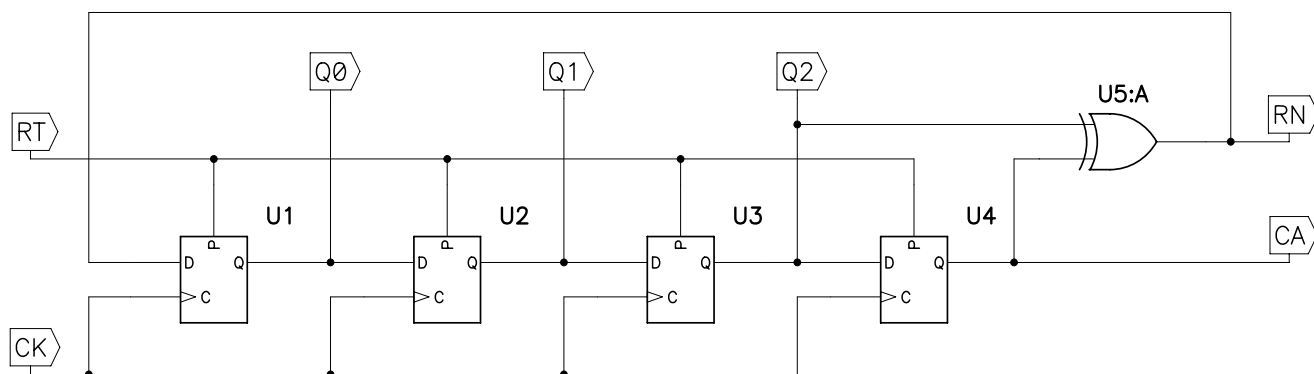
Avec :

C = entrée d'horloge sensible sur front montant
D = entrée de donnée
Q = sortie de la bascule
P = entrée de remise à '1' de Q

- Table de fonctionnement :

| P | C | D | Q |
|---|---|---|---|
| 1 | X | X | 1 |
| 0 | | 0 | 0 |
| 0 | | 1 | 1 |

On considère la structure suivante constituée de $n = 4$ bascules D, générant une signature satellite simplifiée :

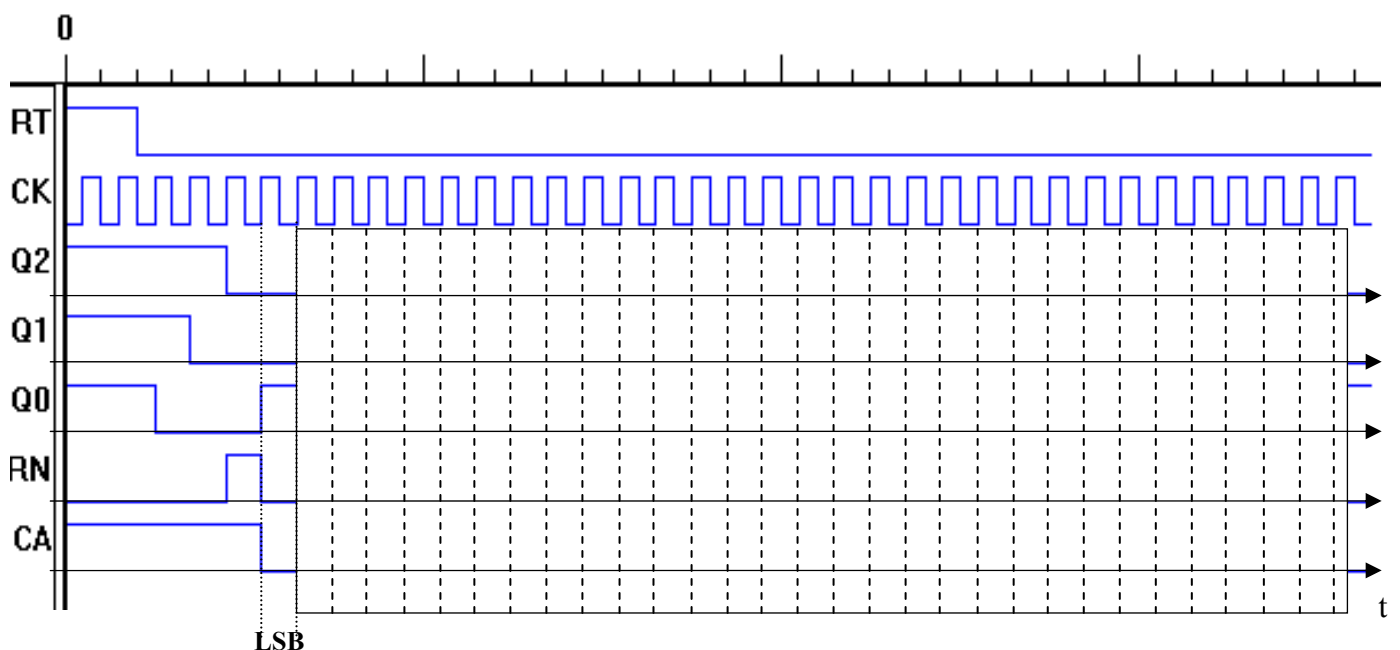


Q8 - **Préciser** le front actif de l'horloge CK et le niveau actif de l'entrée RT de forçage à l'état logique haut des sorties de toutes les bascules.

Q9 - **Donner** le nom de l'opérateur logique repéré U_{5:A} dont on rappelle la table de vérité ci-contre

| Input ₁ | Input ₂ | Output |
|--------------------|--------------------|--------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

Q10 - **Compléter** les chronogrammes suivants, pour lesquels : Q₀, Q₁ et Q₂ correspondent aux sorties des trois premières bascules, et CA à la sortie de la quatrième et dernière bascule.



Q11 - À partir du chronogramme précédent, **déterminer** la valeur binaire de la signature du satellite présente en sortie CA. On considèrera que la séquence de transmission de cette signature débute (*au 4^{ème} front d'horloge suivant le passage à 0 de RT*) par son bit de poids faible, et qu'elle est constituée de $2^n - 1$ bits.

Q12 - **Convertir** la signature du satellite en hexadécimal.

3 - Protocole NMEA 0183 -

La norme NMEA 0183 est une spécification pour la communication entre équipements marins dotés de modules de réception GPS.

Q13 - En vous référant à l'Annexe 4 DT5, **analyser** et **décrire** le contenu de la trame suivante:

\$GPRMC,154356,A,4856.188,N,00225.603,E,000.0,211.1,191097,002.6,W,A*6A

Q14 - **Définir** l'acronyme **UTC**.

Q15 - **Définir** la fonction réalisée par le **Checksum** intégrée en fin de trame NMEA.

Q16 - **Convertir** en caractères alphanumériques l'intégralité de la trame hexadécimale ci-dessous.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0A | 24 | 47 | 50 | 47 | 53 | 56 | 2C | 33 | 2C | 31 | 2C | 31 | 30 | 2C |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

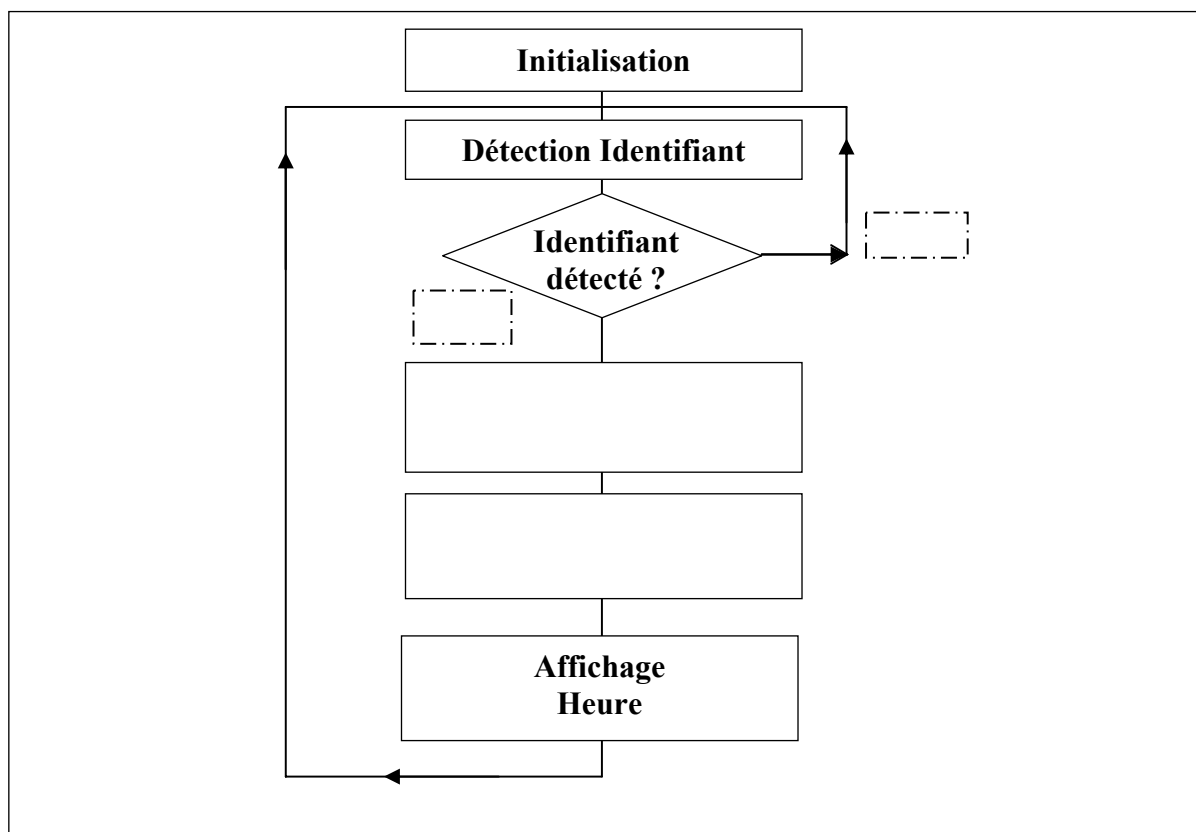
Q17 - **Indiquer** le nom et la fonctionnalité de la trame précédente.

Q18 - **Interpréter** ce champ de données et **conclure** quant à la validité des informations de positions délivrées dans un message complet à la suite de cette trame.

4 - Extraction de l'heure -

Le programme, décrit en langage C, permettant l'extraction de l'heure, est proposé en Annexe 7 DT9. Il reprend les fonctionnalités d'un registre à décalage de type série / parallèle. Ceci permet d'extraire les informations contenues dans une trame NMEA délivrée par la fonction **Décodage**.

Q19 - **Compléter** l'algorithme, ci-dessous, décrivant le fonctionnement de ce programme.



Q20 - **Indiquer** les valeurs des constantes Y et Z utilisées dans le programme pour extraire l'heure.

Q21 - **Conclure** en donnant le résultat affiché par les lignes 55 et 56 en heure, minute, seconde et 1000^{ème} de seconde pour les trames reçues suivantes :

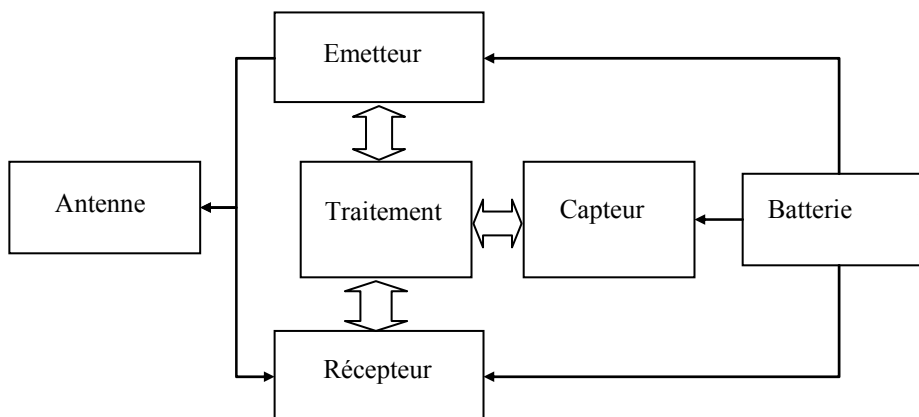
\$GPGSV,2,2,08,14,31,229,38,02,26,062,00,26,18,203,32,04,08,031,00*75
\$GPRMC,082042.801,A,4804.1527,N,00045.5808,W,0.00,253.44,171109,,*12
\$GPGGA,082043.801,4804.1527,N,00045.5804,W,1,04,4.0,102.8,M,47.7,M,0.0,0000*6A
\$GPGSA,A,3,31,14,26,29,,,,,,,,,5.8,4.0,4.1*36

Partie 3 - Transmission des signaux par modulation FSK -

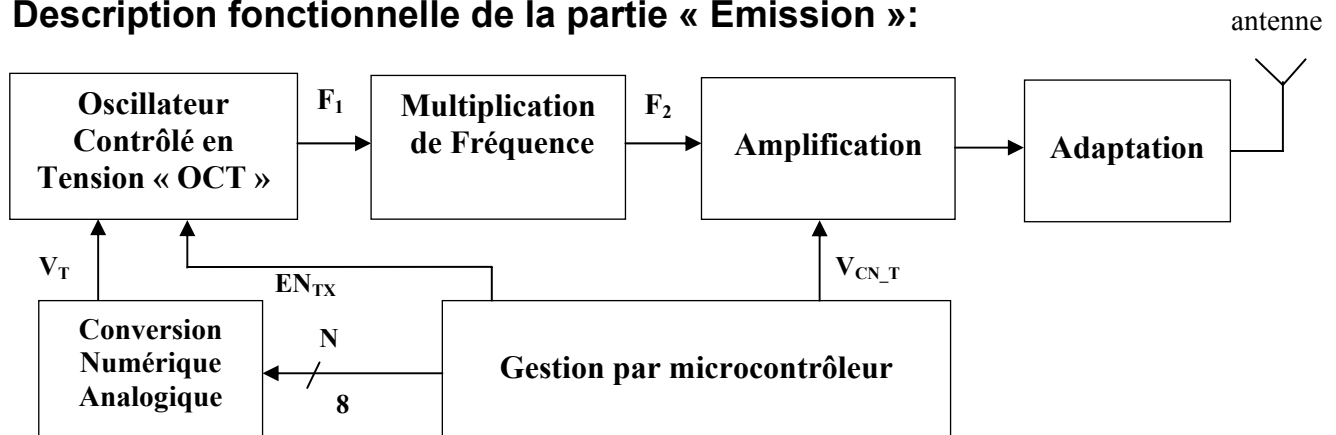
Objectif : On se propose de valider les structures assurant la fonction **Transmission** des étiquettes vers les lecteurs. Pour cela, vous devrez :

- caractériser la transmission des signaux ;
- mettre en œuvre l'oscillateur contrôlé en tension ;
- définir les valeurs permettant la génération des 2 composantes spectrales ;
- évaluer les conditions d'une bonne transmission ;
- régler la puissance d'émission ;
- valider la structure de **Duplexage**.

Synoptique constructeur :



Description fonctionnelle de la partie « Émission » :



Le microcontrôleur assure les rôles de :

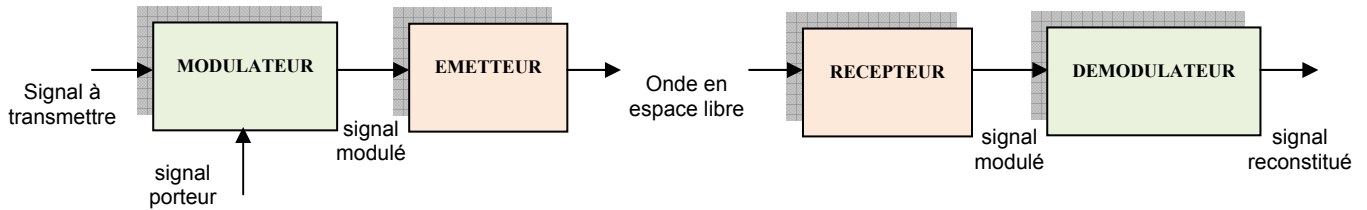
- génération d'un octet N, image de la tension V_T souhaitée;
- activation de l'OCT par la commande EN_{TX} de type tout ou rien ;
- mise en veille de l'ensemble par la commande V_{CN_T} de type tout ou rien.

Conditions : Pour répondre aux questions liées à cette partie, vous disposez des extraits de documentations constructeurs suivants :

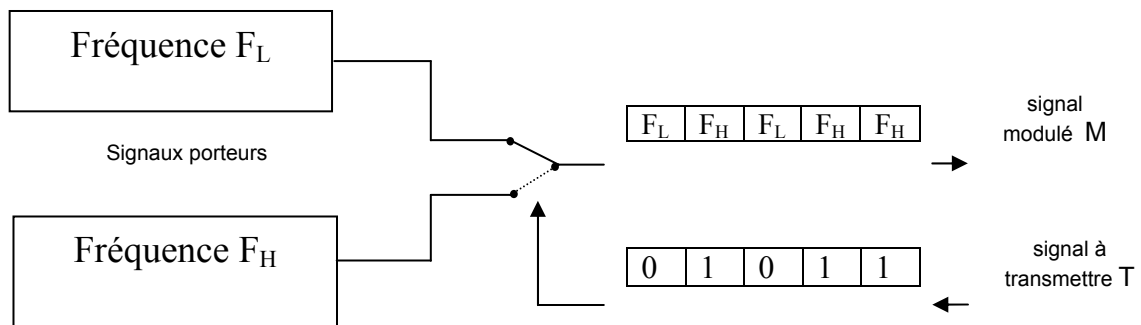
- Annexe 8 DT10 - Filtre à onde de surface : B3740 ;
- Annexe 9 DT11 - Diode Varicap : BBY58-02W ;
- Annexe 10 DT12 - Transmetteur FSK : TH722011KDC ;
- Annexe 11 DT13 - Diode de signal : BAR 65-02V.

1 - Transmission d'une donnée numérique en FSK -

L'organisation d'une chaîne de transmission peut être schématisée de la manière suivante :



Dans le cas de la modulation FSK (Frequency Shift Keying) que nous allons idéaliser, la porteuse est modulée en fréquence par le signal numérique à transmettre. C'est à dire qu'elle passe d'une fréquence F_L (pour le « 0 ») à une fréquence F_H (pour le « 1 »), comme illustré ci-dessous :



Dans notre application, les signaux transmis ont les caractéristiques suivantes :

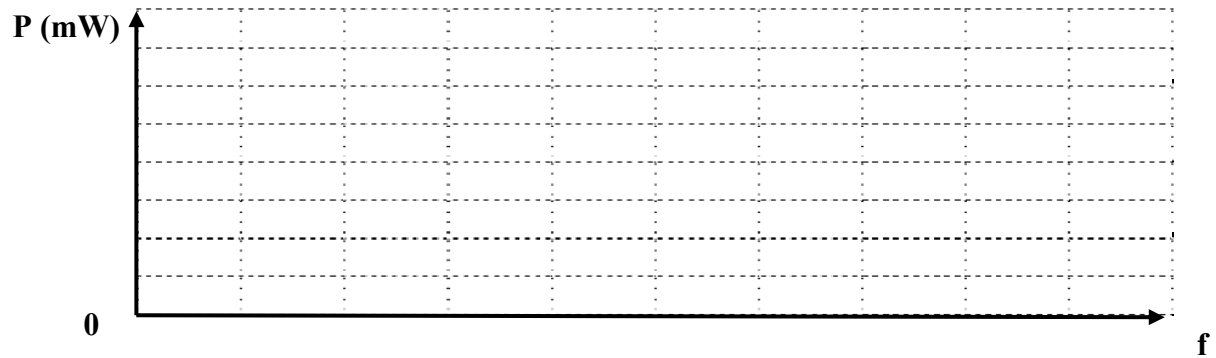
- fréquence porteuse : $F_0 = 433,82 \text{ MHz}$;
- fréquences de fonctionnement : $F_0 + F_d$ et $F_0 - F_d$ avec $F_d = 5,5 \text{ KHz}$;
- débit : $D = 2380 \text{ bit/s}$;
- puissance maximale : $P = 5 \text{ mW}$.

Q1 - **Donner** les valeurs numériques des 2 fréquences, basse F_L , et haute F_H .

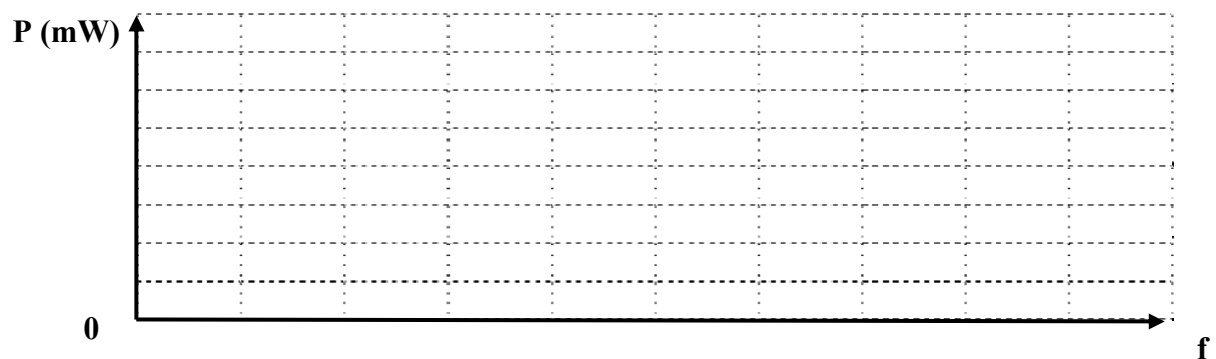
Q2 - **Compléter** le chronogramme ci-dessous illustrant la transmission de l'octet **\$A3**. Le protocole encadre cette donnée à transmettre par un bit de Start (0 logique) et un bit de Stop (1 logique) et commence par le bit de poids faible. On dessinera l'allure du chronogramme de T en indiquant les signaux porteurs correspondants.

| T | | | | | | | | | | | |
|---|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|
| | 0 | | | | | | | | | | |
| | Start | | | | | | | | | | t |
| M | | | | | | | | | | | |
| | F_L | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | t |

Q3 - **Représenter** l'allure spectrale du signal FSK lorsque celui-ci ne transporte que des '1' logiques.



Q4 - **Représenter** l'allure spectrale du signal FSK lorsque celui-ci ne transporte que des '0' logiques.



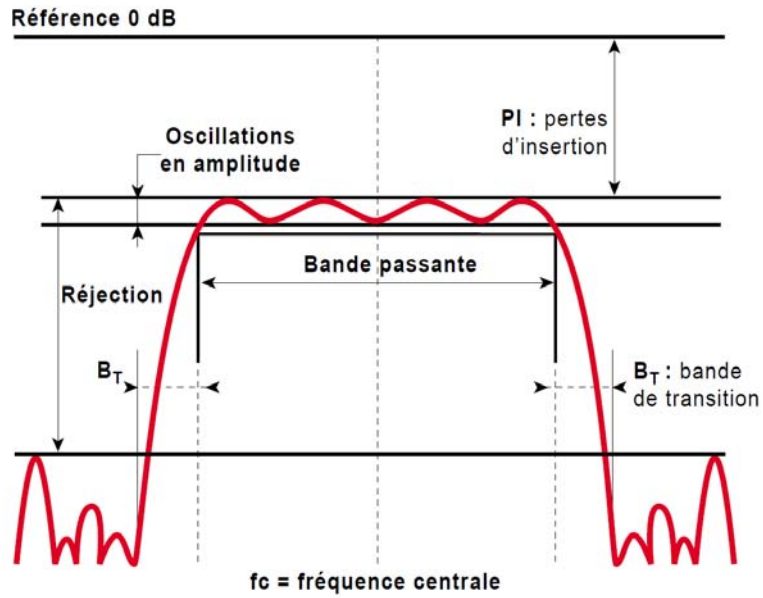
Q5 - **Déterminer** la largeur de la bande occupée entre ces deux cas particuliers.

Q6 - En réalité, L'encombrement spectral de ce type de modulation dépend du débit binaire D du signal à transmettre. La bande passante nécessaire pour la transmission d'un signal modulé FSK peut être approximée à l'aide de l'expression suivante :

$$B = 2.(D + F_d)$$

Calculer l'encombrement spectral du signal réel.

Pour extraire le signal utile, le récepteur doit intégrer un filtre dont le gabarit est représenté ci-dessous :

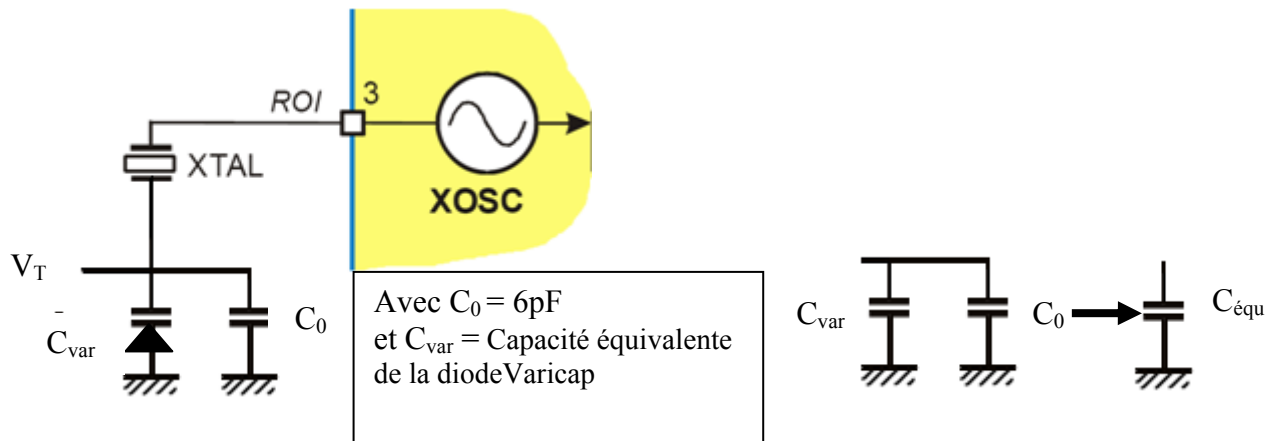


Q7 - **Montrer** que le choix du filtre de référence B3740 convient à notre application.

2 - Oscillateur Contrôlé en Tension -

Le circuit intégré référencé TH72011 est un transmetteur FSK spécialement conçu pour travailler dans la bande de fréquences Européenne ISM (Industrial Scientific Medical). Il remplit partiellement les fonctions précédemment décrites : **OCT, Multiplication de fréquence et Amplification**.

La fréquence F_1 générée est fonction de la capacité équivalente au schéma ci-dessous :



On va vérifier que la Varicap choisie par le concepteur du système permet à l'OCT de générer correctement F_L et F_H en fonction de V_T . On précise que la Varicap est un composant dont la valeur de la capacité varie en fonction de la tension V_T présente à ses bornes. Sur l'oscillateur, la fréquence F_L est obtenue pour une valeur de $C_{\text{éq}}$ de 24pF et F_H est obtenue pour une valeur de $C_{\text{éq}}$ de 18pF

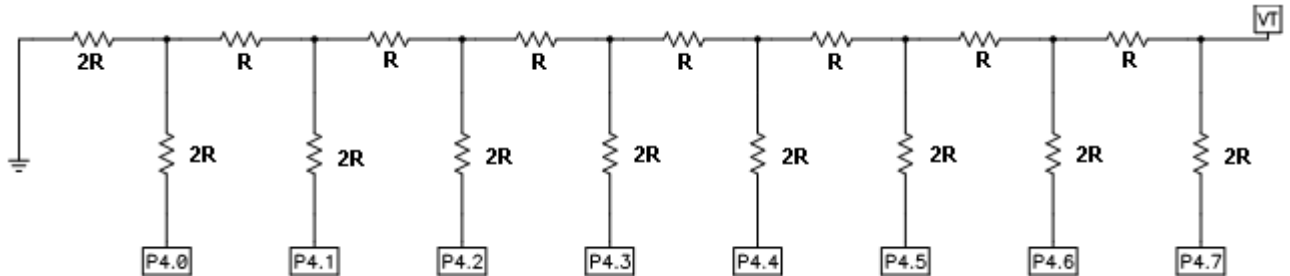
Q8 - Déterminer l'expression littérale de C_{var} en fonction de $C_{\text{éq}}$, C_0 .

Q9 - Effectuer l'application numérique avec $C_{\text{eq1}} = 24\text{pF}$ et $C_{\text{eq2}} = 18\text{pF}$.

Q10 - Analyser la documentation technique de la Varicap fournie en Annexe 9 DT11 et en **déduire** les deux valeurs de la tension analogique V_T permettant la génération des 2 composantes spectrales souhaitées. La tension V_T doit être comprise entre 0V et 2,5V. **Conclure** sur la validité du modèle de Varicap choisi.

3 - Convertisseur Numérique Analogique -

Cette fonction permet de générer la tension analogique V_T à partir d'un mot binaire N écrit sur 8 bits. La conversion est basée sur le principe d'un **réseau $R/2R$** dont la structure est donnée ci-dessous. $P_{4.0}$ à $P_{4.7}$ représentent les huit sorties du port n°4 du microcontrôleur.



Q11 - Déterminer l'expression littérale de V_T en fonction de N , sachant que le niveau logique actif des sorties numériques, issues du microcontrôleur, au niveau haut V_{OH} correspond à 2,5V.

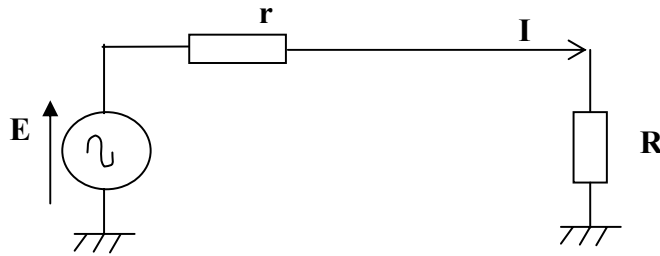
Q12 - Calculer les valeurs numériques de V_T pour les valeurs extrêmes de N .

Q13 - Calculer les valeurs de N pour V_{T1} et V_{T2} , dans les différentes bases proposées ci-dessous.(vous arrondirez à l'entier inférieur)

| V_T (V) | $(N)_{10}$ | $(N)_2$ | $(N)_{16}$ |
|--------------|------------|---------|------------|
| 0 | | | |
| $V_{T1} = 1$ | | | |
| $V_{T2} = 2$ | | | |
| V_{TMax} | | | |

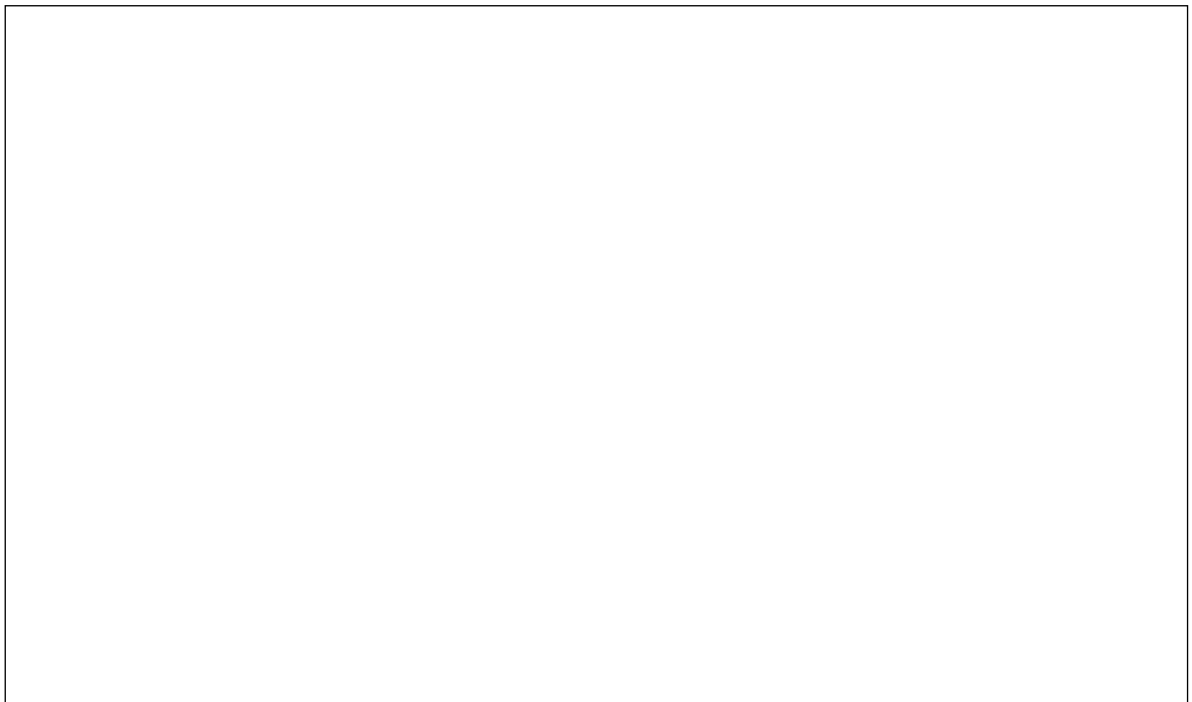
4 - Puissance transmise -

L'étage de sortie de l'émetteur peut être modélisé par un générateur de tension E et une résistance série r . La charge R représente l'impédance de l'antenne.



Q14 - **Montrer** que l'expression littérale de la puissance transmise à la charge R peut se mettre sous la forme suivante : $P_R = E^2 \frac{R}{(r+R)^2}$

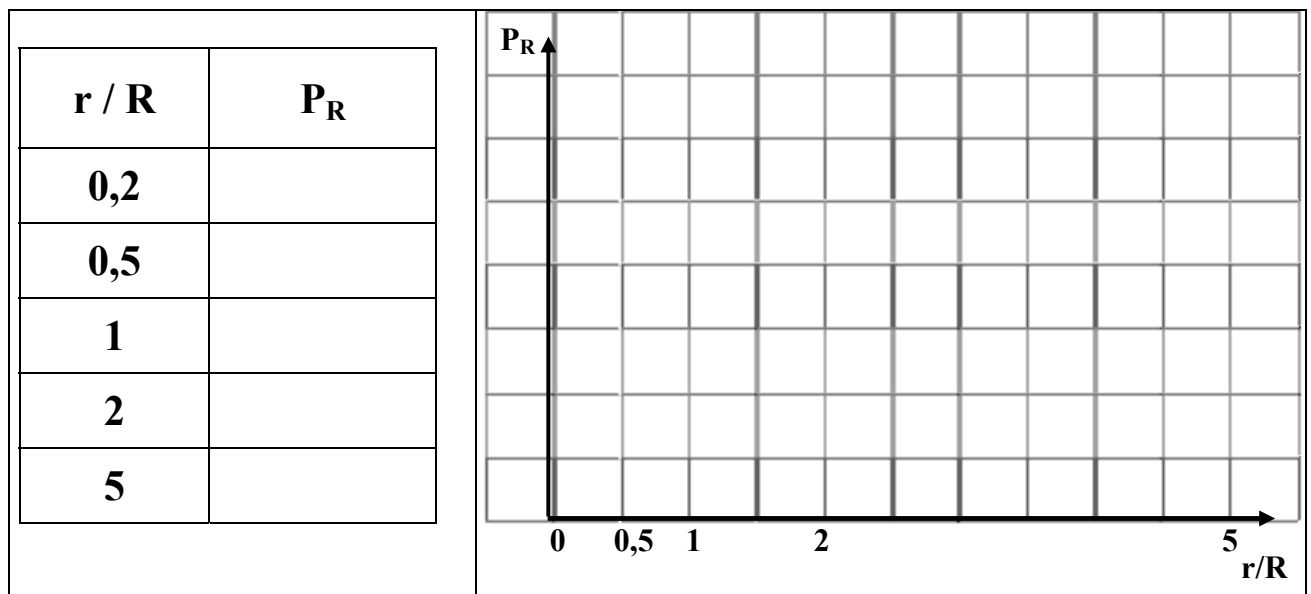
puis sous la forme : $P_R = E^2 \frac{1}{\left(\frac{r^2}{R} + 2.r + R\right)}$



Dans ces conditions, la puissance transmise à la charge R est maximale lorsque la valeur du dénominateur est minimale.

Nous allons maintenant déterminer graphiquement la condition du rapport $\frac{r}{R}$ qui permet cela. Pour simplifier les calculs, nous prendrons $E = 1V$ et $r = 1 \Omega$

Q15 - **Calculer** dans ces conditions les valeurs numériques de P_R en fonction du rapport de r/R et **tracer** la caractéristique correspondante.



Q16 - **Conclure**, quant à la condition nécessaire du rapport r/R , pour avoir une transmission de puissance maximale du générateur à la charge.

Q17 - **Déterminer** la puissance P_E délivrée par le générateur de tension E .

Q18 - **Déterminer**, dans ces conditions, la puissance P_R maximale délivrée à la charge résistive R .

Q19 - **En déduire** le rendement en % : $\eta = P_R / P_E$

5 - Interprétation et exploitation-

Les coordonnées géographiques sont transmises en **degrés sexagésimaux** (c'est-à-dire, en degrés, minutes et secondes) dans la trame NMEA.

Le logiciel de cartographie Google Earth utilise lui la notation en **degrés décimaux**. Il est donc nécessaire, avant affichage, de convertir les données reçues.

Le système sexagésimal est un système de numération utilisant la base 60. Notamment utilisé pour mesurer le temps ou les angles (en trigonométrie) et pour préciser des coordonnées géographiques.

Exemple :

Soit une latitude de 45° 53' 36" (45 degrés, 53 minutes et 36 secondes).

Exprimée en degrés décimaux, la latitude sera égale à :

$$\text{latitude} = 45 + (53 / 60) + (36 / 3600) = 45,893333...$$

Formulation générale :

$$\text{latitude (degrés décimaux)} = \text{degrés} + (\text{minutes} / 60) + (\text{secondes} / 3600)$$

Q20- **Extraire** de la trame suivante, la position correspondante.

\$GPRMC,102752.00,A,4805.92392,N,00140.77280,W,0.009, ,180209,

Q21 - **Convertir** ces coordonnées en degrés minutes secondes décimales.

Q22 - Pour le même point géographique, l'application « Google Earth » donne le résultat suivant : **48° 05' 55.4352'' N et 1° 40' 46.248'' O.**

Calculer l'écart, en mètres, entre ces mesures et celles données par le GPS, sachant que 1s d'angle correspond à environ 30m.

Conclure quant à la précision du GPS dans le cadre du géopositionnement d'un véhicule.

Partie 4 - Surveillance de la tension batterie -

Objectif : On se propose de montrer que les structures proposées par le constructeur permettent de déterminer de façon précise l'état de charge de la batterie. Pour cela, vous devrez :

- effectuer un choix technologique pour la fonction **Régulation** ;
- définir les caractéristiques de la fonction **Filtrage** ;
- valider la structure relative à la fonction **Echantillonnage** ;
- mettre en œuvre la fonction mixte **Conversion** ;
- évaluer la précision de la mesure ;
- proposer une solution pour la fonction logicielle **Prise de décision**.

Description fonctionnelle :

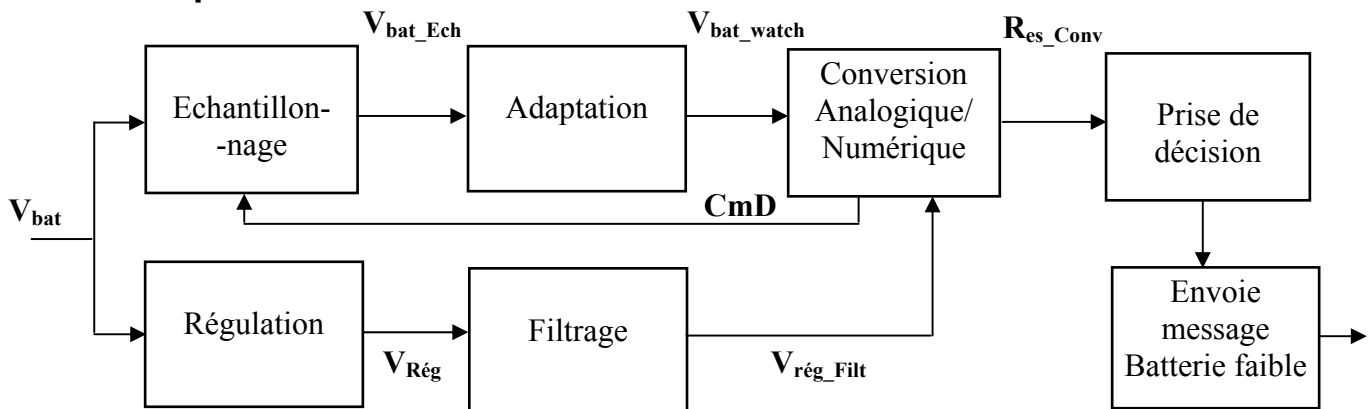
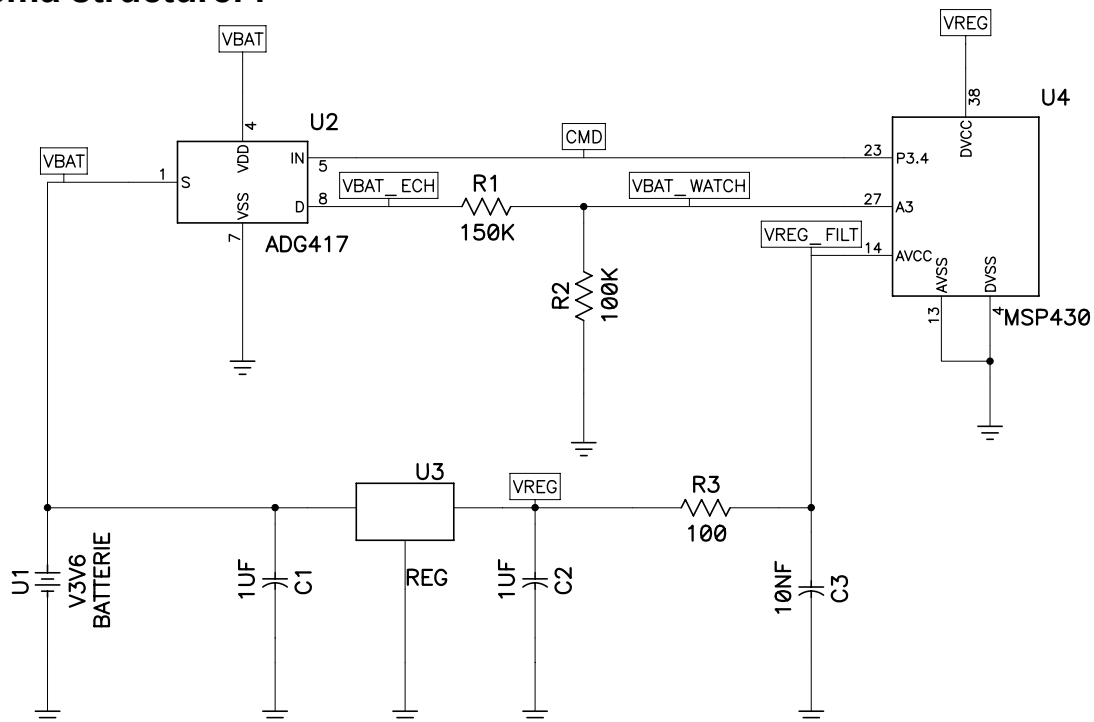


Schéma structurel :



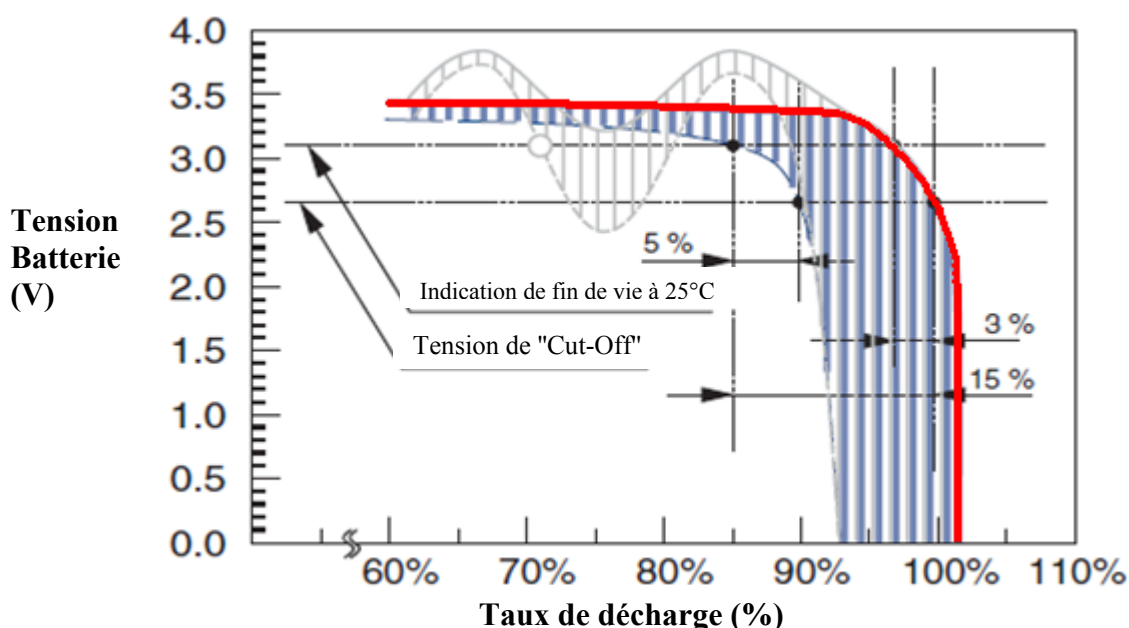
Conditions : Pour répondre aux questions liées à cette partie, vous disposez des extraits de documentation constructeur suivants :

- Annexe 11 DT13 - Régulateurs de tension : R1180D et TPS715345 ;
- Annexe 12 DT14 - Multiplexeur analogique : ADG417.
- Annexe 13 DT15 - CAN à approximation successive.

1 - Choix du régulateur de tension -

La tension de fonctionnement de la batterie non rechargeable utilisée est de 3,6 V. Sa caractéristique de décharge est donnée ci-dessous.

Principe de détermination de « Fin de Vie » de la batterie :



Courbe continue rouge :

Décharge dans une impédance de valeur constante, à la température de 25°C. On considère que le taux de décharge de la batterie a atteint 100% lorsque la tension est descendue à la valeur dite de "Cut-Off". L'indication de fin de vie sera atteinte à environ 3% de la capacité encore disponible.

Courbe hachurée bleue :

Décharge engendrée par un courant impulsionnel (impédance de charge de valeur non constante). Si les tests sont effectués en mode impulsionnel, l'indication de fin de vie sera alors étendue à 15% de la capacité encore disponible et la mesure de la tension devra être effectuée lors d'un pic de courant.

Courbe grise :

Les cycles de température saisonniers distordent la courbe de décharge. L'indication de fin de vie peut donc intervenir au cercle gris sur la courbe et entraîner un changement précoce de la batterie. Pour pallier à cela, la vérification d'indication de fin de vie peut être suspendue lors des variations importantes de température. Il est aussi possible d'établir une correction des résultats en fonction de la température mesurée.

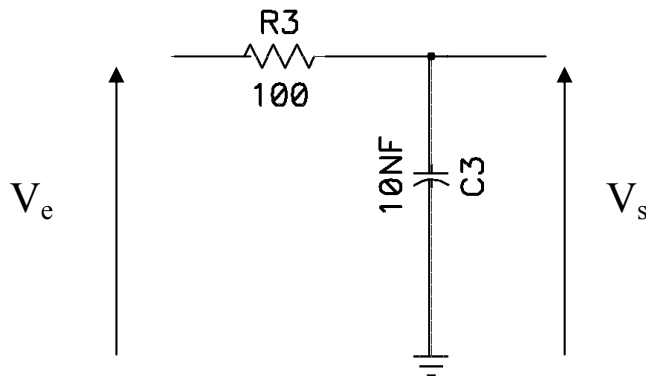
Q1 – L'étiquette RFID fonctionnant par intermittence et dans l'hypothèse de variations de température négligeables, **déterminer** graphiquement la valeur fournie par la batterie lorsque celle-ci est déchargée à 85% dans le cas le plus défavorable.

Q2 - Sachant que le régulateur de tension utilisé fournit une tension, repérée $V_{\text{Rég}}$, de 2,5V, et que la batterie est déchargée à 85%, **calculer** la tension de Drop Out.

Q3 - D'après les extraits de documentation constructeurs donnée en annexe 11 DT13, **choisir** le régulateur de tension adéquat, parmi les deux proposés. **Justifier** votre réponse.

2 - Rôle de la fonction de filtrage -

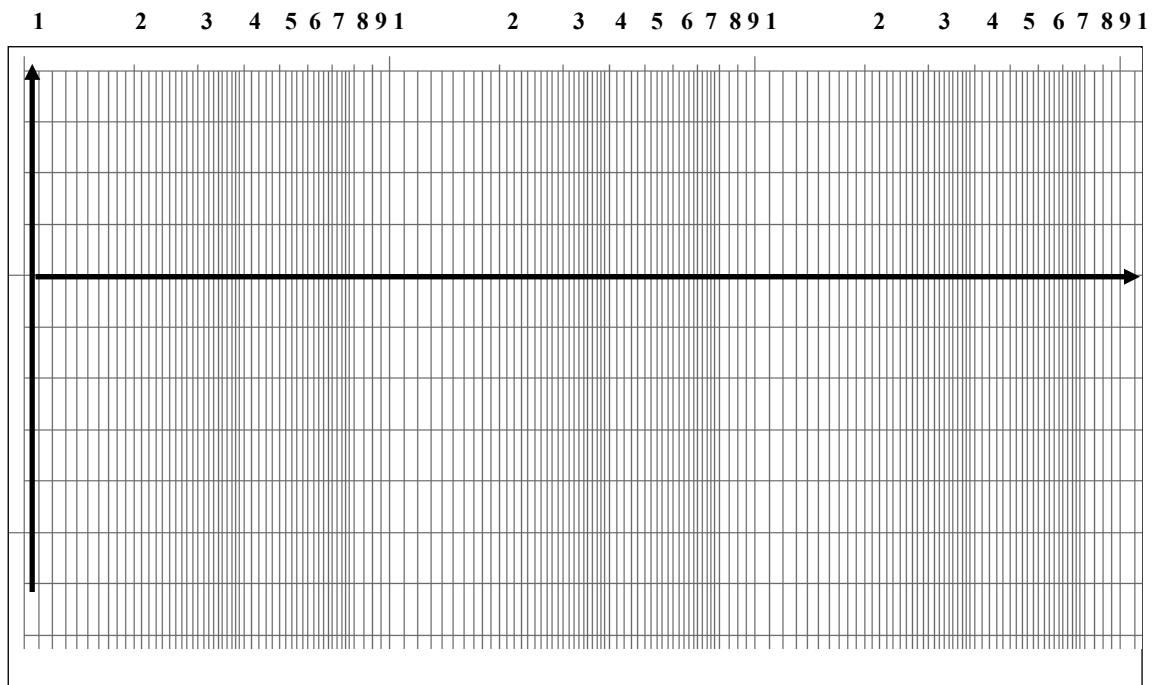
Cette fonction est réalisée par le circuit R_3 - C_3 situé entre $V_{\text{rég}}$ et $V_{\text{rég_Filt}}$. On rappelle la structure correspondante à cette fonction :



Q4 - **Déterminer** l'expression littérale de sa fonction de transfert : **$V_s = F(V_e)$**

Q5 - **Montrer** que la fréquence de coupure, de cette fonction de filtrage, peut se mettre sous la forme suivante : $F_0 = \frac{1}{2.\pi.RC}$. **Effectuer** l'application numérique correspondante.

Q6 – **Compléter** les échelles et **tracer**, dans ces conditions, l'allure asymptotique du module du gain en tension correspondant à cette fonction.

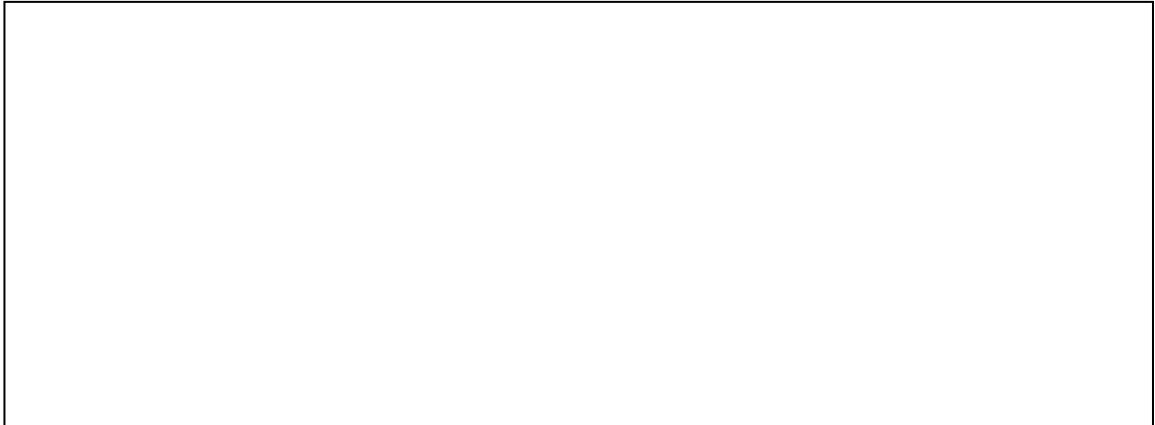


Q7 - **Conclure** quant au rôle de cette fonction vis à vis de l'entrée de référence A_{VCC} du composant MSP430.

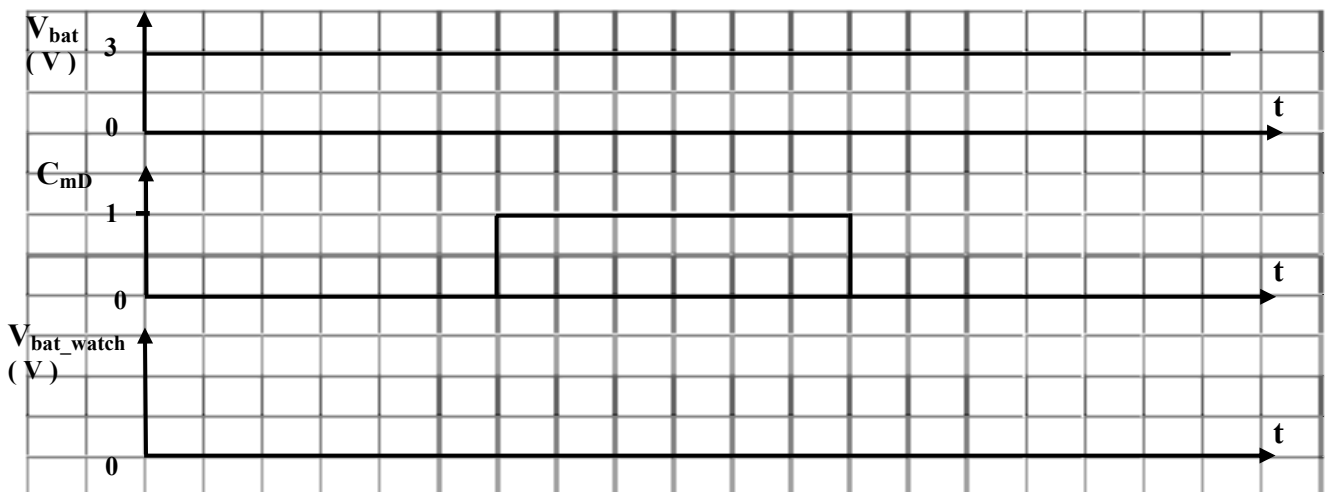
3 - Validation de la fonction d'échantillonnage -

Cette fonction, architecturée autour du multiplexeur analogique ADG417, permet de prélever la tension batterie afin d'en numériser la valeur. Pour la suite des calculs, on prendra : $V_{\text{bat}} = 3\text{V}$.

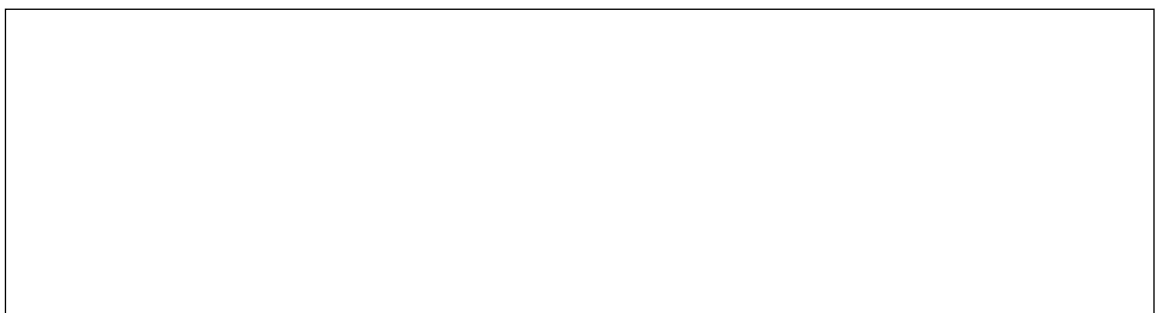
Q8 - **Donner** le schéma électrique équivalent de la structure considérée.



Q9 - **Tracer** l'allure du signal électrique présent en $V_{\text{bat_Watch}}$ en fonction du niveau logique de la commande C_{mD} . **Justifier** les valeurs numériques en considérant l'interrupteur idéal.



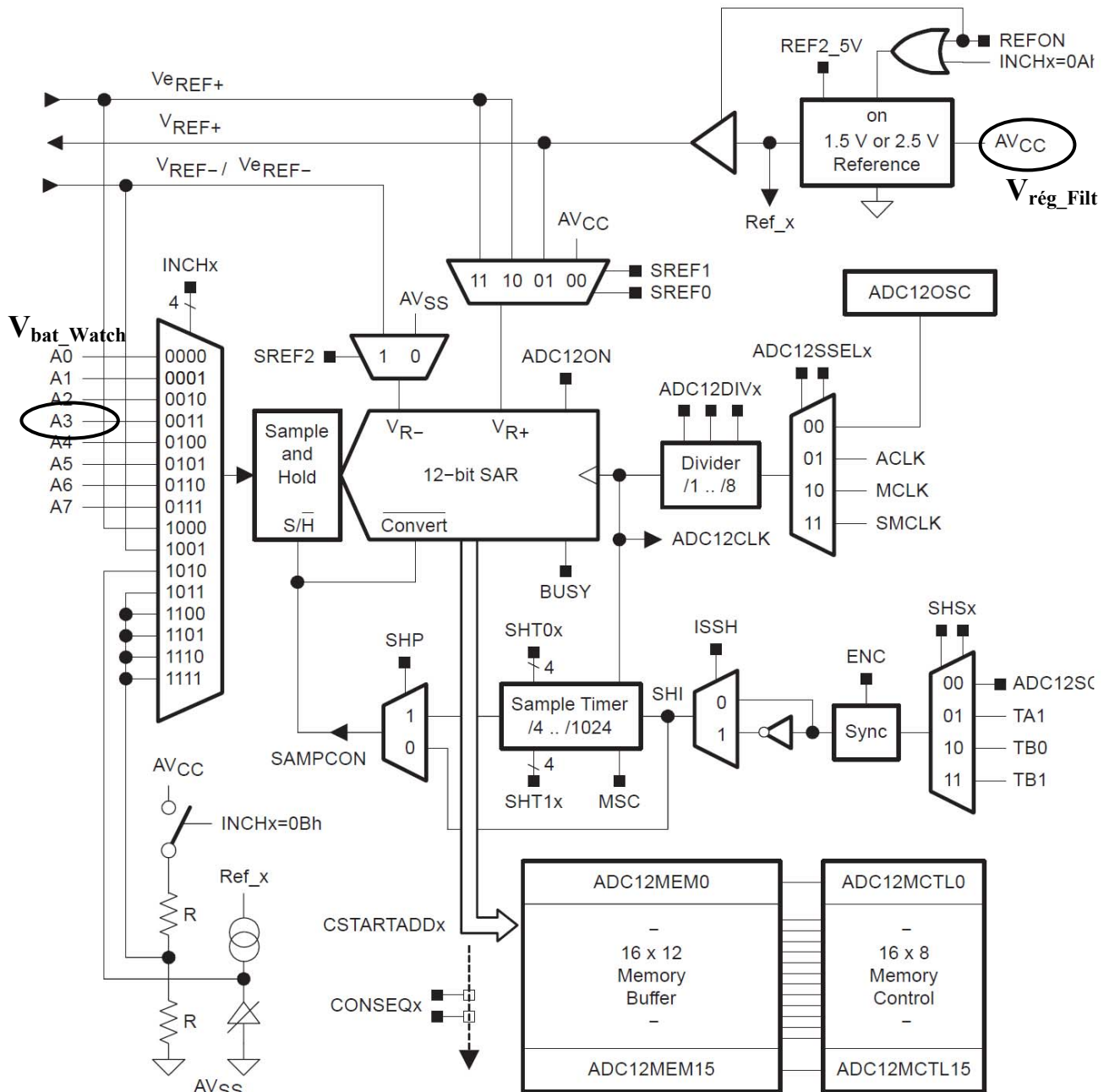
Q10 – **Montrer**, en vous référant à la documentation de l'ADG417, que l'interrupteur réel n'apporte pas une modification de la mesure supérieure à 1% à 25°C.



4 - Mise en œuvre du Convertisseur Analogique Numérique -

La structure du CAN à approximation successive (SAR), interne au microcontrôleur Texas Instruments MSP430, est donnée ci-dessous. Les labels $V_{\text{rég_Filt}}$ et $V_{\text{bat_Watch}}$ y sont identifiés respectivement en AV_{CC} et A3.

La description des registres concernés est donnée en annexe 13 DT15.



Q11 - Donner la longueur du mot binaire restitué par le convertisseur.

Afin de configurer le CAN, il est nécessaire de paramétrer le registre de contrôle ADC12MCTLx. Celui-ci permet la sélection de la tension de référence V_{REF+} par rapport à AV_{CC} et le numéro de la voie analogique A_3 à convertir.

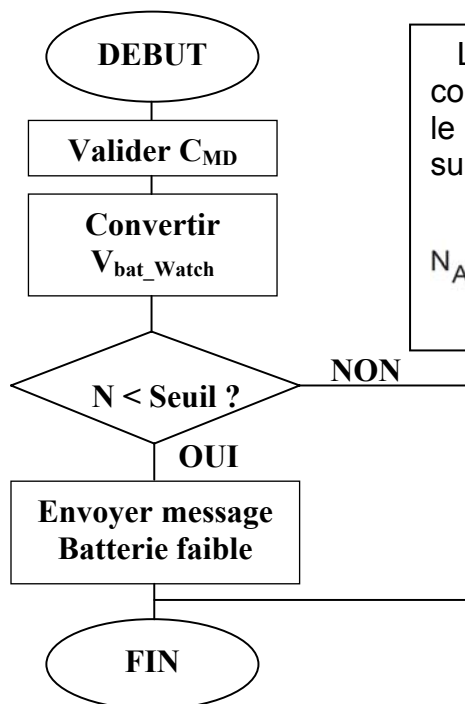
Q12 - **Donner** la valeur binaire à affecter à INCHx permettant la sélection de l'entrée à numériser.

Q13 - **Donner** la valeur binaire à affecter à SREFx permettant d'aiguiller la tension de sortie du régulateur interne de référence vers V_{R+} et AVSS vers V_{R-} .

Q14 - En considérant que le bit EOS = 0, **donner** la valeur en binaire puis en hexadécimale à affecter au registre de contrôle.

5 - Précision de la mesure -

Soit la procédure logicielle de test de la batterie, regroupant les fonctions : **Conversion analogique / Numérique - Prise de décision - Envoi message batterie faible**, simplifiée suivante :



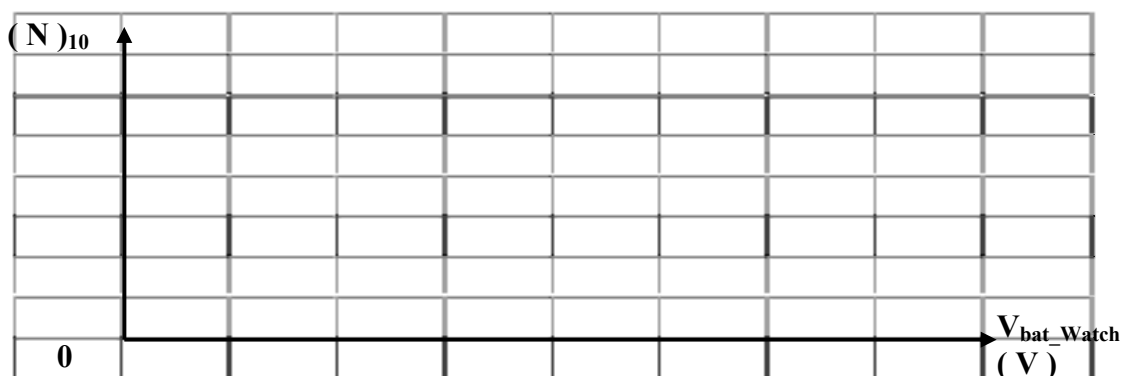
La fonction de transfert du convertisseur est donnée par le constructeur par la relation suivante :

$$N_{ADC} = 4095 \times \frac{V_{in} - V_{R-}}{V_{R+} - V_{R-}}$$

Q15 - **Calculer** les valeurs numériques images des tensions analogiques extrêmes ainsi que celle correspondant à la valeur du seuil.

| | $V_{bat_Watch} (V)$ | $(N)_{10}$ | $(N)_2$ | $(N)_{16}$ |
|----------------|----------------------|------------|---------|------------|
| $V_{rég\ min}$ | 0 | | | |
| V_{Seuil} | 1,2 | | | |
| $V_{rég\ Max}$ | 1,5 | | | |

Q16 - **Tracer** la caractéristique de transfert correspondante : $(N)_{10} = f(V_{bat_Watch})$.



Q17 - **Vérifier** par calcul que l'on obtient bien une précision inférieure à 1mV.

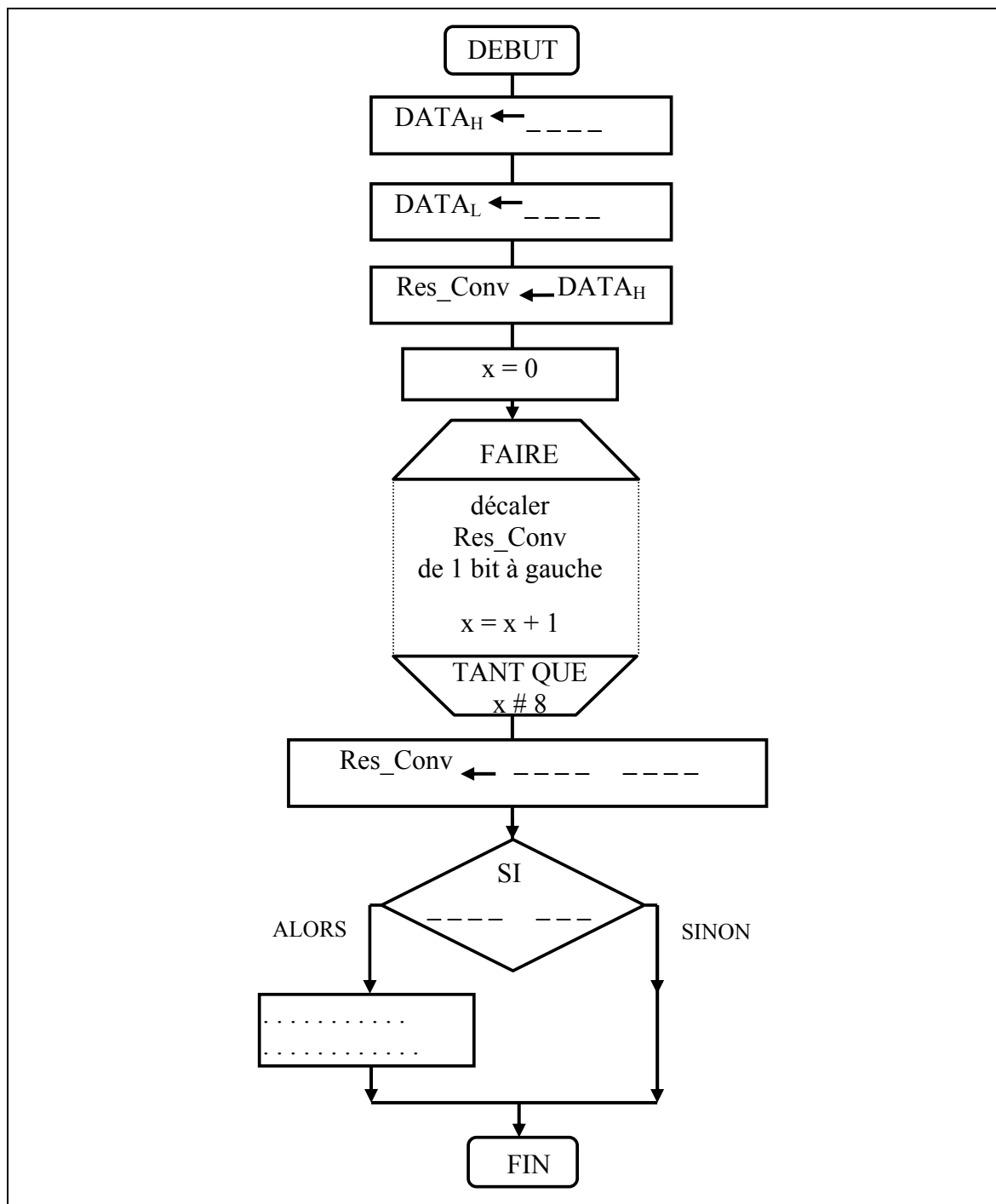
6 - Fonction logicielle de “Prise de décision” -

Le registre ADC12MEM, contenant le résultat de conversion, est constitué de deux registres nommés ADC_L contenant les 8 bits de poids faibles et ADC_H contenant les 4 bits de poids forts comme décrit en annexe 14.

Pour réaliser le traitement de l'information, nous avons déclaré deux variables de type OCTET (DATA_H et DATA_L) et une de type ENTIER c'est-à-dire de deux octets (Res_Conv).

La fonction **Prise de décision** permet de construire la variable Res_Conv à partir de ADC_L et ADC_H et d'envoyer le message d'alerte **Batterie faible** si la tension de batterie V_{bat} est inférieure à celle du seuil prédéfini S.

Q18 - **Compléter** l'algorithme de ce traitement donné ci-dessous.

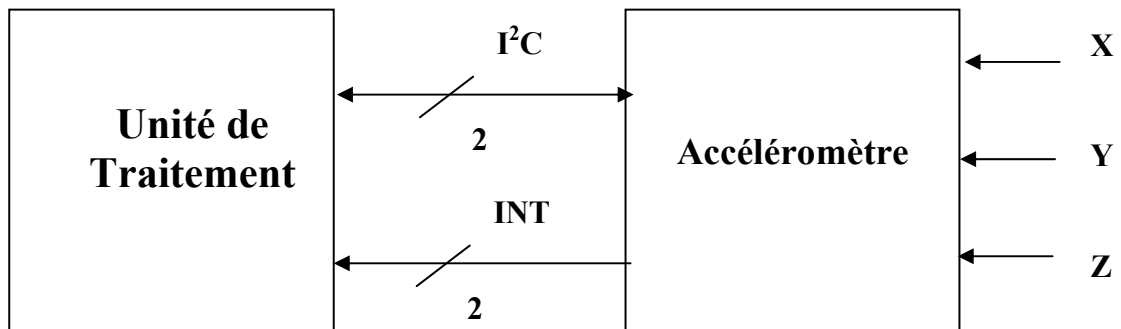


Partie 5 - Détection de mouvement par accéléromètre -

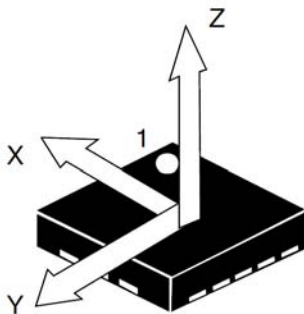
Objectif : On se propose de justifier le choix porté sur l'accéléromètre LIS331DLH de STMicroelectronics et de le mettre en œuvre d'un point de vue matériel et logiciel. Pour cela, vous devrez :

- comprendre la mise en situation l'accéléromètre LIS331DLH ;
- vérifier que la variation de valeur d'un capteur capacitif est proportionnelle à l'accélération ;
- justifier la mise en œuvre matérielle avec l'unité de traitement ;
- interpréter une trame I²C ;
- proposer une organisation logicielle.

Description fonctionnelle :



L'intégration d'un accéléromètre à la structure des étiquettes RFID permet de connaître le déplacement, l'inclinaison ou la chute d'une palette par exemple.



Positionnement
des axes vis-à-
vis du circuit
intégré



Etiquette fixée verticalement
sur une palette

Les étiquettes sont
collées en général à la
verticale sur un
conteneur.

2 sortes d'informations
sont alors collectées :

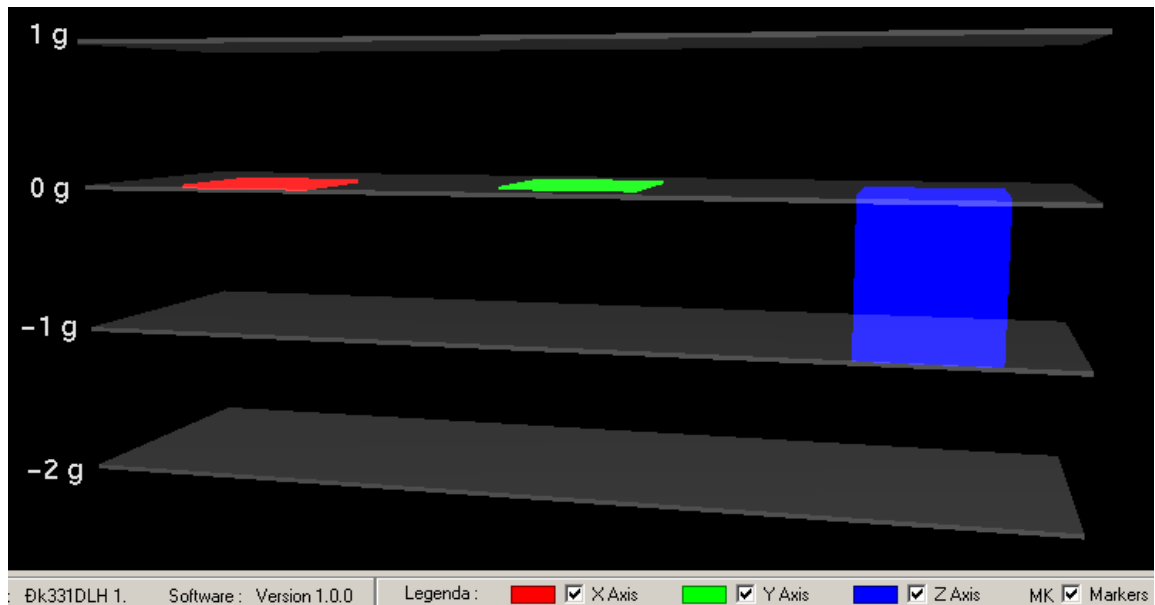
- Déplacement en X ou Y
- Chute en Z

Conditions : Pour répondre aux questions liées à cette partie, vous disposez des extraits de document constructeur suivants :

- Annexe 14 DT16 – Microcontrôleur Texas Instrument : MSP430F2252 –
- Annexe 15 DT17 – Liaison série I²C –
- Annexe 16 DT18 – Accéléromètre STMicroelectronics : LIS331DLH –

1 - Mise en œuvre d'un accéléromètre -

Afin d'évaluer les performances de l'accéléromètre LIS331DLH, STMicroelectronics propose un kit d'évaluation comprenant une carte électronique et un logiciel associé STEVAL-MKI022V1. Ce dernier donne le résultat suivant, pour une position particulière du composant. X-Y-Z représentent les axes de positionnement et g l'apesanteur.



Q1 – Justifier les valeurs données par le logiciel sachant que le composant est posé à plat sur un support horizontal et immobile.

2 - Principe d'un capteur capacitif à surface variable -

L'électronique actuelle met en œuvre des capteurs de plus en plus compliqués, sophistiqués et hautement intégrés. Parmi tous ces capteurs, il en est un qui se développe très rapidement : l'accéléromètre. Développé dès le début des années 70, sa mission était de détecter un choc et de déclencher le coussin de sécurité d'un véhicule, par exemple : l'airbag. D'un format carte postale dans les années 80, il tient aujourd'hui, grâce à la technologie **MEMS** dans une puce de l'ordre de 1 mm².

Cette technologie étant arrivée à maturité, on trouve les **accéléromètres** dans de nombreux domaines et systèmes ; Citons pour exemples :

- déclenchement des airbags des véhicules ;
- calcul et contrôle de trajectoire des avions, missiles et automobiles ;
- détection du rythme cardiaque à l'intérieur d'un pacemaker ;
- détection des mouvements dans les stabilisateurs d'appareils photos (pour diminuer l'*effet flou*), manette de consoles de jeux, stylos intelligents (sécurisation des signatures ...) ;
- contrôle de l'état de la structure d'un avion ;
- détection de mouvement pour arrêter la lecture et l'enregistrement de fichiers dans les ordinateurs portables pour ne pas abîmer la tête de lecture lors d'un choc.

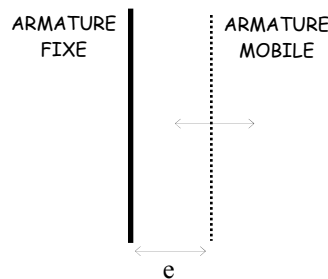
Le principe de cet accéléromètre repose sur la variation de la capacité entre 2 armatures en regard l'une de l'autre : La valeur de la capacité d'un condensateur plan est donnée par la relation simplifiée donnée ci-après, pour laquelle ϵ est la permittivité diélectrique de l'isolant du condensateur, s est la surface des armatures en regard et e la distance entre celles-ci.

$$C = \epsilon \cdot \left(\frac{S}{e} \right)$$

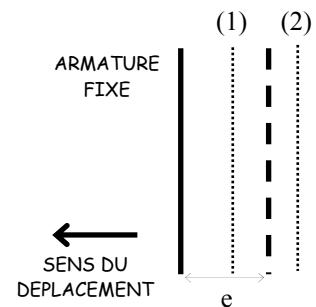
Q2 - Justifier l'unité de ϵ en $A \cdot s \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}$.

Dans un tel accéléromètre, l'une des armatures est fixe, tandis que la seconde est mobile.

Au repos, ou à vitesse uniforme, la distance entre les 2 armatures est constante.

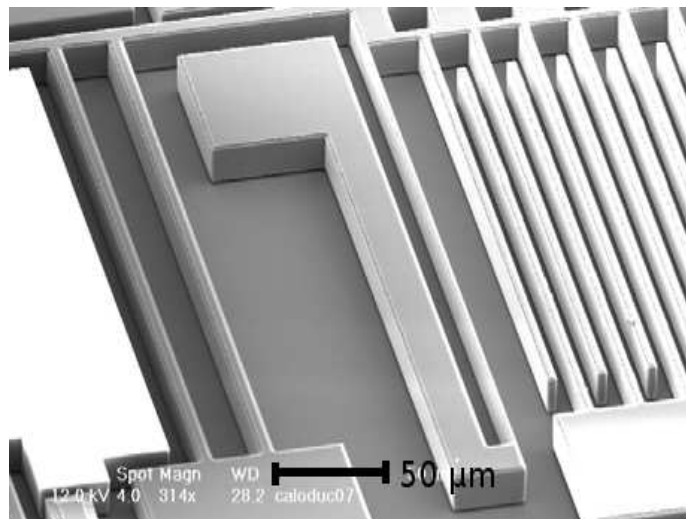


Lors d'un freinage ou d'une accélération, la distance entre les 2 armatures est modifiée dans un sens ou dans l'autre.



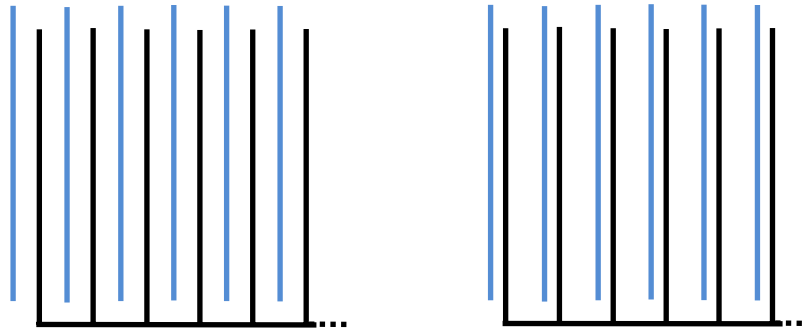
Q3 – Préciser la position (1 ou 2), de l'armature mobile lors d'une phase de freinage ainsi que l'évolution de C . Justifier votre réponse.

Cette mesure de la variation de C est à la base de l'accéléromètre capacitif. Dans un MEMS, on remplace les 2 armatures simples du condensateur par 2 peignes d'armatures qui s'interpénètrent :



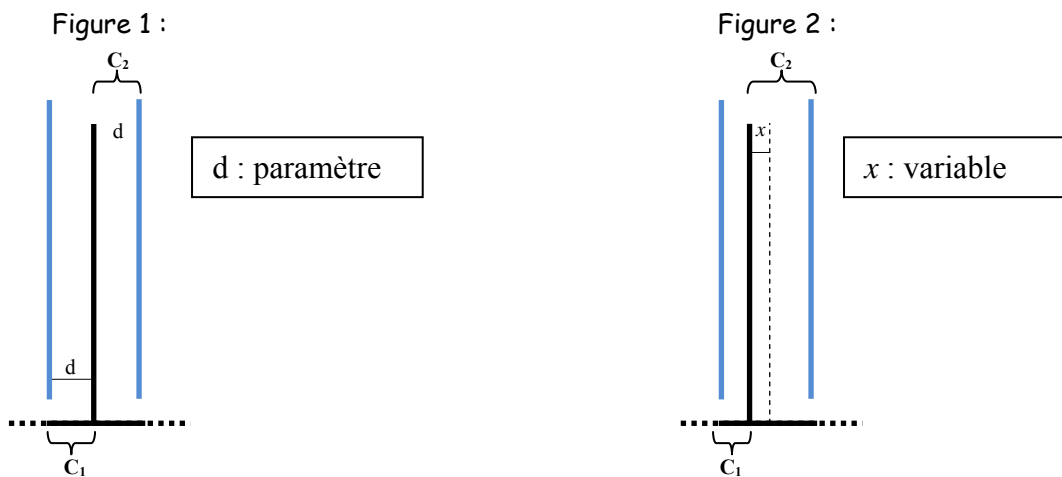
Les avantages d'un tel dispositif sont :

- la valeur de la capacité est multipliée par le nombre de « dents » du peigne ;
- lorsqu'une dent mobile s'approche de l'armature de gauche, elle s'éloigne en même temps de l'armature de droite.



A l'équilibre ou lors d'un mouvement uniforme : les armatures sont à égales distances les unes des autres comme décrit figure 1.

Lors d'une accélération ou d'une décélération, les armatures en regard se déplacent l'une par rapport à l'autre comme décrit figure 2.



Au repos, la valeur de chacun des condensateurs C_1 et C_2 est égale à :

$$C_0 = \varepsilon \cdot \left(\frac{S}{d} \right)$$

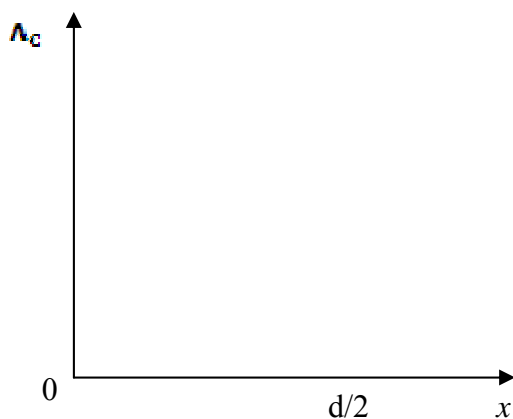
Q4 - Donner les expressions des nouvelles valeurs des condensateurs C_1 et C_2 , de la figure 2, en fonction de ε , S , d et x qui est l'écart entre la position d'équilibre et la nouvelle position de l'armature mobile.

Q5 - Exprimer $\Delta_C = C_1 - C_2$.

Q6 - **Montrer** que $\Delta_C = C_1 - C_2$ peut se mettre sous la forme de l'équation du second degré suivante : $\frac{\Delta_C}{\epsilon.S} x^2 + 2.x - \frac{\Delta_C.d^2}{\epsilon.S} = 0$

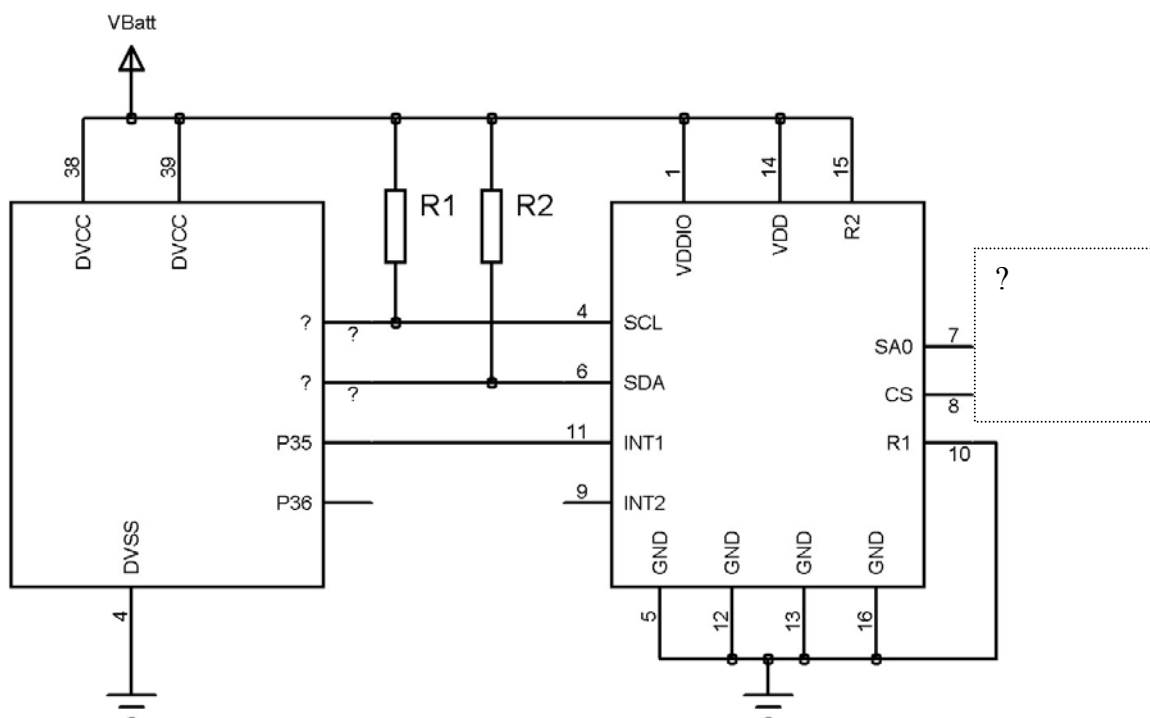
Q7 - Pour des très petites variations de x le terme $\frac{\Delta_C}{\epsilon.S} x^2$ devient négligeable au regard des autres termes. **Montrer** que Δ_C peut s'écrire : $\Delta_C = \frac{2.x.C_0}{d}$

Q8 – **Tracer** la fonction de transfert $\Delta_C = f(x)$ pour x compris entre 0 et $\frac{d}{2}$ et **conclure** quant à l'intérêt de travailler uniquement sur des petites variations de x (en comparaison avec l'équation fournie en Q6)



3 - Mise en œuvre matérielle avec l'unité de traitement –

Les données de l'accéléromètre U_1 - LIS331DLH sont transmises à l'unité de traitement U_2 - MSP430F225-RHA par liaison série de type I²C.



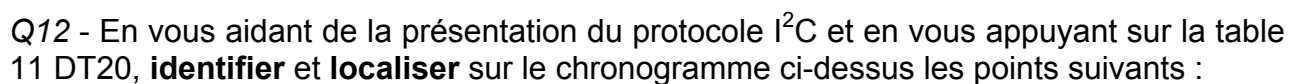
Q9 - **Compléter** le tableau ci-après en décrivant le rôle de chacune des différentes broches d'Entrées / Sorties de l'accéléromètre LIS331DLH.

| Broche | Label | Description |
|--------|-------|-------------|
| 8 | CS | |
| 4 | SCL | |
| 6 | SDA | |
| 7 | SA0 | |

Q10 - **Identifier** les bits de port du microcontrôleur MSP430F2252-RHA à relier à l'accéléromètre LIS331DLH via le bus I²C.

[illegible]

Dans le cas d'une configuration de la liaison série en mode I²C entre le micro contrôleur et l'accéléromètre, on relève la trame suivante :



- Q13 – Quelle valeur doit être appliquée sur la broche SA0 dans ces conditions ? (justifiez votre réponse)

| |
|--|
| |
|--|

| | |
|--|--|
| | |
|--|--|

5 - Organisation logicielle -

Le programme d'initialisation de l'accéléromètre est donné ci-dessous :

CTRL_REG1= 0010 1010 (valeur entrée dans le registre CTRL_REG1 en binaire)
 CTRL_REG3= 0000 0000
 CTRL_REG4= 0000 0000
 INT1_THS = 15 (valeur décimale correspondant à un seuil de +/-0,25g)
 INT1_CFG = 1000 1010

Q15 - En vous référant à la documentation des registres du composant, **complétez** le QCM ci-dessous:

| | | |
|---|---------------------------------|---|
| Axe X activé : | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| Axe Y activé : | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| Axe Z activé : | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| Sensibilité : | +/- 2g <input type="checkbox"/> | +/- 4g <input type="checkbox"/> +/- 8g <input type="checkbox"/> |
| Génération d'Interruption sur X | | |
| - si accélération supérieure au seuil (Threshold) | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| - si accélération inférieure au seuil (Threshold) | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| Génération d'Interruption sur Y | | |
| - si accélération supérieure au seuil (Threshold) | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| - si accélération inférieure au seuil (Threshold) | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| Génération d'Interruption sur Z | | |
| - si accélération supérieure au seuil (Threshold) | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| - si accélération inférieure au seuil (Threshold) | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| OU logique entre les sources d'interruption | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| ET logique entre les sources d'interruption | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |

Q16 – En vous référant aux résultats précédents, **compléter** le chronogramme **demande d'interruption** INT₁ en fonction des accélérations X, Y et Z

On précise : INT reste activée tant que les conditions de déclenchement de l'interruption sont vraies, INT se désactive automatiquement dès que ces conditions deviennent fausses).

Accélérations (g) : X, Y et Z

