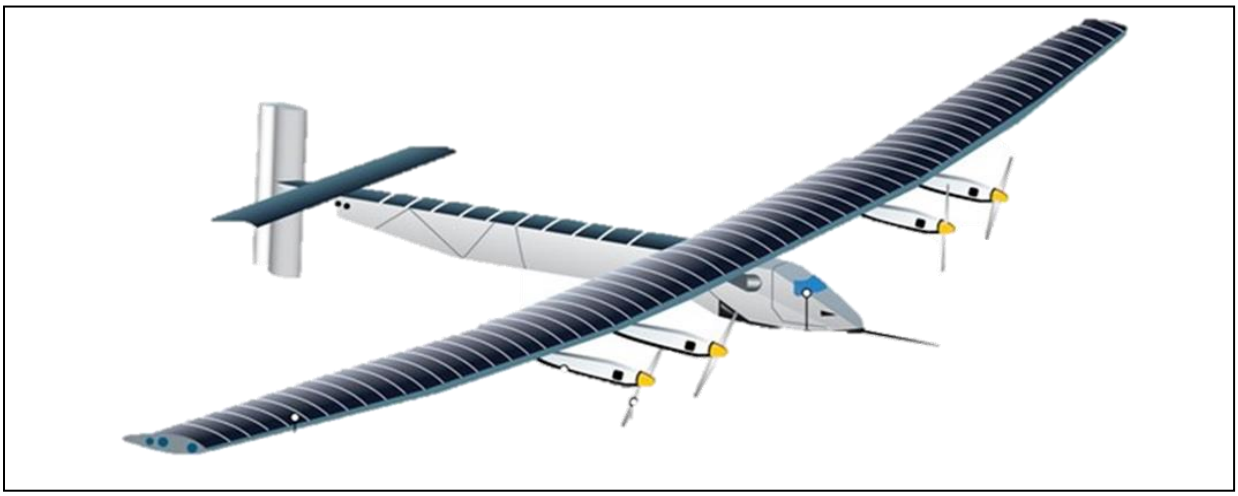
Sujet zéro

2I2D Enseignement spécifique

Systèmes d'information et numérique

Solar Impulse 2



Constitution du sujet :

- **Dossier sujet et questionnement** ..... Pages 26 à 32
- **Dossier technique**..... Pages 33 à 36
- **Documents réponses** ..... Pages 37 à 39

Dans cette partie spécifique, vous devez choisir de traiter la partie B (choix 1) ou la partie C (choix 2). Les autres parties A et D sont à traiter obligatoirement.

Tous les documents réponses, DRS1 à DRS4, sont à rendre agrafés avec votre copie.

Mise en situation

En aviation, le phénomène de portance (ce qui permet à l'avion de voler) dépend, entre autres, de la vitesse relative de l'avion par rapport à l'air. Il est donc très important pour le pilote de connaître et de surveiller cette vitesse afin d'éviter tout risque de décrochage (phénomène de chute de l'avion). Dans le cas de Solar Impulse 2, cette vitesse est en plus transmise au sol afin d'y être enregistrée sur un serveur et analysée en temps réel par l'équipe d'assistance. L'étude qui suit permettra de valider la mesure, la transmission au sol et l'enregistrement sur serveur de la vitesse de Solar Impulse 2.

Notation : toutes les valeurs hexadécimales sont précédées des caractères 0x

Exemple : l'octet de valeur 2b s'écrit : 0x2b = $(2b)_{hex}$ = $(2b)_{16}$

Travail demandé

PARTIE A : Valider la précision de la chaîne d'acquisition de vitesse de l'avion Solar Impulse 2

L'avion Solar Impulse 2 vole à des vitesses relativement faibles. La plage de mesure imposée par le cahier des charges est de 0 à 150 km.h^{-1} (vitesse maximum réelle 140 km.h^{-1}) avec une précision de 0,05 km.h^{-1}.

Question A.1 (DTS1)

A l'aide du document technique DTS1, **justifier** l'utilisation d'une sonde Pitot pour mesurer la vitesse d'un avion.

Question A.2 (DRS1)

La chaîne d'information de la vitesse est partiellement donnée sur le document réponse DRS1. **Remplir** les rectangles vides en indiquant les termes ci-dessous :

« Grandeur numérique » - « Tension analogique » - « Information numérique » - « Tension analogique amplifiée » - « Pression différentielle »

Sur cette chaîne d'information, la fonction « Différentiel de pression » permet d'obtenir une linéarisation de la pression différentielle en fonction de la vitesse de l'avion.

Les caractéristiques des blocs « Différentiel de pression », « Convertisseur pression/tension » et « Convertisseur analogique numérique (CAN) » sont données sur document technique DTS2.

Question A.3 (DTS2)

Donner la valeur de U_{scap} pour une vitesse de 150 km.h^{-1}. **Justifier** la mise en place de l'amplificateur avant le convertisseur.

On cherche à vérifier que l'information vitesse sera suffisamment précise. Pour cela, le choix du convertisseur analogique numérique (CAN) est important.

Question A.4 DTS2	Toujours en vous aidant du document technique DTS2, **calculer** le quantum (résolution) du CAN.
Question A.5 DTS2	**Calculer** la vitesse de l'avion pour ce quantum (N = 1 à la sortie de CAN) et **conclure** sur la précision de la mesure de vitesse de Solar Impulse 2.

On donne :

$$N = ENT\left(\frac{2^n - 1}{3{,}3} \times Ue\right)$$

$$Ue = 21{,}6 \times 10^{-3} \times V$$

V : vitesse de l'avion en km/h
Ue : tension d'entrée de CAN en volt
n : nombre de bits du convertisseur
N : nombre issus de la conversion
ENT(x) : Partie entière de x

Choix 1 :

PARTIE B : Validation de l'émission des paramètres vers le sol

Tous les paramètres de l'avion Solar Impulse 2 (charge des batteries, vitesse, température, pression...) sont transmis au centre de contrôle sur terre. Au total, il y a 96 paramètres transmis en temps réel. Le cahier des charges impose une retransmission de tous ces paramètres à chaque seconde.

Chaque donnée est transmise via 3 octets :
- 1 octet pour le code de la grandeur physique (voir document technique DT3) ;
- 2 octets pour la valeur.

Pour être envoyées au sol, les données sont réunies sous forme de trames. Une trame est constituée de 3 données (9 octets) et 2 octets de transfert, soit 11 octets en tout.

0xFF	oct_0	oct_1	oct_2	oct_3	oct_4	oct_5	oct_6	oct_7	oct_8	Chk

FF : est l'octet de synchronisation, il permet de repérer le début de la trame numérique

oct_0 ... oct_8 : sont les valeurs des 9 octets de données. La valeur 255 n'est jamais atteinte (pour éviter l'obtention de FF).

Chk (checksum) : cet octet de checksum, comparé à la même opération effectuée au sol, permet de valider ou non la trame reçue.

Au fur et à mesure de l'acquisition, les valeurs sont stockées dans un tableau de données afin d'être transmises sur terre. Ce tableau de données est partiellement donné sur le DTS4.

L'algorithme ci-dessous permet à partir du tableau de données la mise en forme et l'envoi des 32 trames nécessaires à l'envoi des 96 paramètres de vol.
Il effectue le calcul, pour chaque trame, de l'octet de cheksum « Chk ».

```
Début
   Pour ( Num_Trame de 0 jusqu'à 31 par pas de 1)
      Envoyer ( FF )                                  // Envoyer l'octet FF (synchronisation)
      Pour ( Num_Octet de 0 jusqu'à 8 par pas de 1)
         Valeur = Lire (Num_Octet+9xNum_Trame)        // Lire l'octet n°x du tableau de données
         Envoyer ( Valeur )                           // Envoyer l'octet lu
         Chk = Chk + Valeur                           // Additionner la valeur de l'octet avec la
                                                      valeur précédente de Chk
      Fin de Pour
      Chk = Chk_Temp /2                               // Calculer le Chk en divisant sa valeur par 2
      Envoyer ( Chk )                                 // Envoyer l'octet Chk
   Fin de Pour                                        // Mettre Chk à 0
   Chk = 0
Fin
```

Valeur : valeur lue dans le tableau des paramètres. Type : octet (byte)

Num_Trame : Numéro de la trame en cours. Type : octet (byte)

Num_Octet : Numéro de l'octet en cours. Type : octet (byte)

Chk : Cheksum (octet de contrôle). Type octet (byte) il est calculé par une addition sur 8 bits des 9 octets suivie d'une division entière par 2 (pour éviter l'obtention de FF).

Question B.1 DRS2	À partir de cet algorithme, **compléter** l'algorigramme du document réponse DRS2.

Question B.2 DTS3, DTS4,DRS3	A l'aide du tableau du document technique DTS3 et du tableau de données du document technique DTS4, **remplir** sur le document réponse DRS3 la trame incluant les paramètres de vol : « Température cockpit », « Vitesse Solar Impulse » et « Pression extérieure ».

Les 2 octets liés au paramètre 0x26 représentent la partie entière et la partie décimale de la vitesse du Solar Impulse.

Question B.3 DRS3	**Calculer** la valeur de ces 2 octets en hexadécimal si l'avion vole à une vitesse de 71,86 $km.h^{-1}$. **Consigner** les résultats sur le document réponse DRS3. **Comparer** ces résultats avec la trame émise et **conclure**.

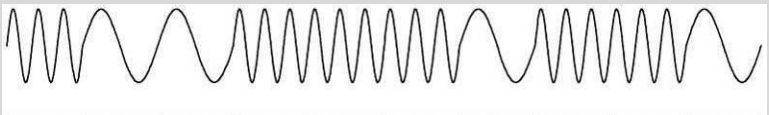
Choix 2 :

PARTIE C : Réception des données et transfert vers la salle de contrôle

Les données sont transmises par modulation FSK. Le codage FSK (décalage en fréquence) associe à chaque bit un signal sinusoïdal de fréquence déterminée :

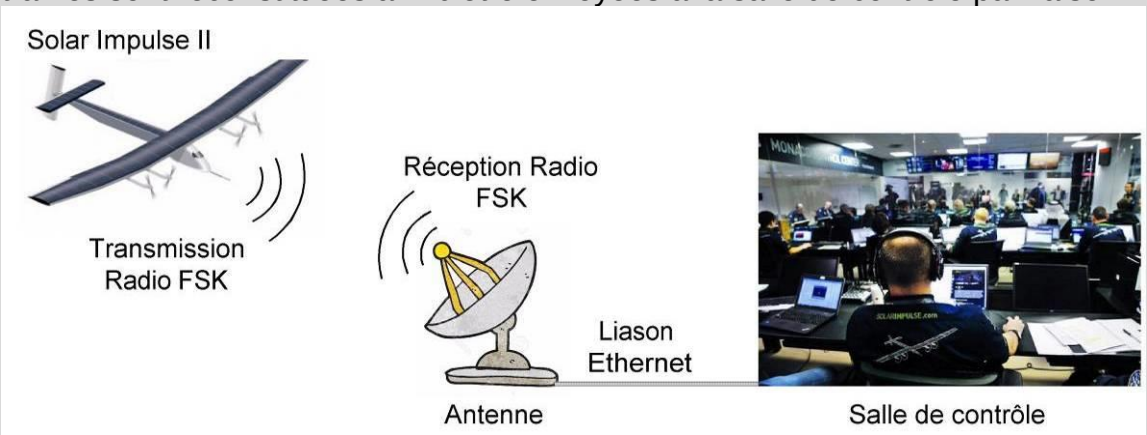
- un « zéro logique » correspond la fréquence de 28,8 kHz ;
- un « un logique » correspond la fréquence de 9,6 kHz.

Exemple de transmission par modulation FSK d'un octet de valeur 0x23 = b00100011 :



0	1	1	0	0	0	1	0	0	1
Start	bit_0	bit_1	bit_2	bit_3	bit_4	bit_5	bit_6	bit_7	Stop

Une fois transmis par radio, ces signaux sont réceptionnés au sol par une antenne et les trames sont reconstituées afin d'être envoyées à la salle de contrôle par liaison Ethernet.



Pour détecter les « 0 » et les « 1 » dans la trame, on utilise un filtre passe-bas. Il permet de filtrer les basses fréquences et donc les 0 logiques de la trame. La courbe de ce filtre est donnée sur le document technique DTS5.

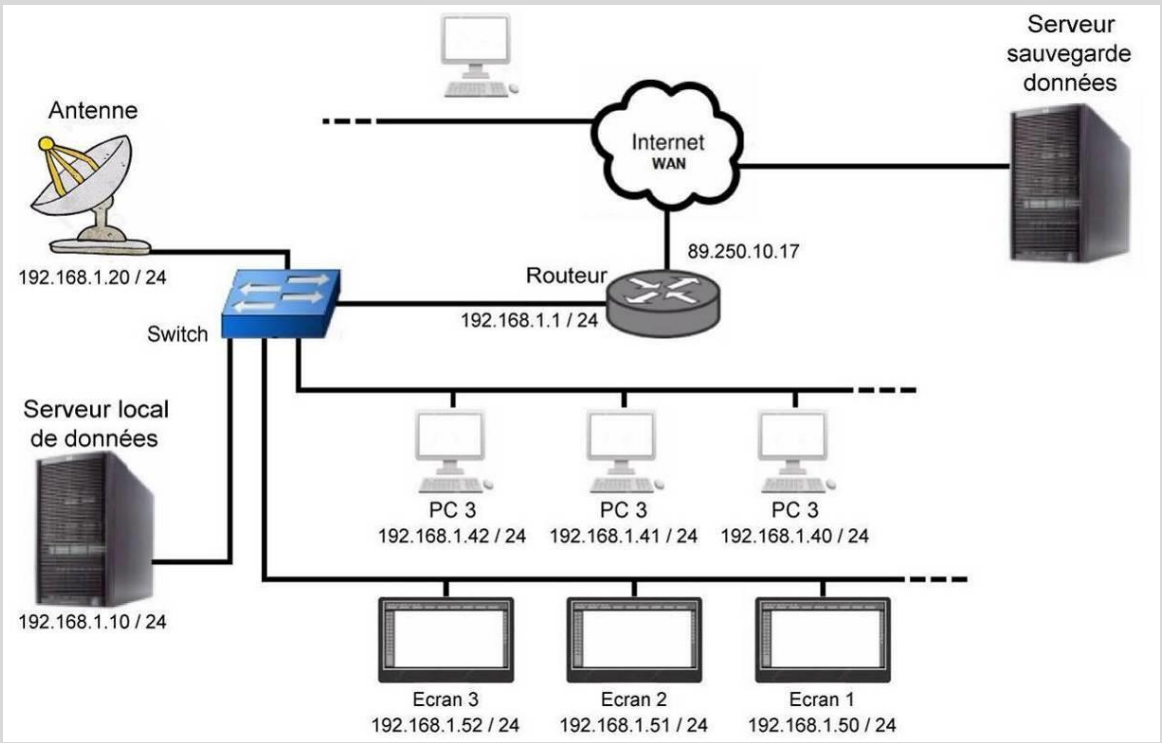
Question C.1 DTS5	À partir de cette courbe, **donner** la fréquence de coupure du filtre à -3dB et **conclure** sur la pertinence de cette valeur.

Le document réponse DRS4 donne la réception avant filtrage des 2 octets « vitesse Solar Impulse ».

Question C.2 DRS4	Sur ce même document, **dessiner** l'allure de ces 2 octets après filtrage et en déduire la vitesse de l'avion.

Une fois reconstituées, les trames sont envoyées sur un serveur local de données afin de les enregistrer et de faciliter le partage sur l'ensemble des équipements de la salle de contrôle.

L'architecture du réseau est donnée ci-dessous :



La liaison Ethernet est analysée afin de s'assurer de l'exactitude des données transmises. La trame capturée en hexadécimal est la suivante :

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
00	12	25	96	13	68	3f	45	97	00	0f	20	28	06	17	00	16
01	53	21	15	73	00	80	45	00	04	02	7c	c0	40	00	3b	06
02	ee	bd	c0	a8	01	14	c0	a8	01	0a	3b	06	4c	17	01	62
03	27	02	24	59	03	91	23	04	54	15	05	f3	3c	06	21	4d
04	07	10	00	08	9f	65	09	48	98	0a	12	07	0b	03	07	0c
05	28	06	0d	29	08	0e	28	10	0f	12	07	10	03	07	11	22
06	06	12	1b	05	13	06	43	14	ba	ca	15	20	21	16	62	59
07	17	13	75	18	29	56	19	31	84	1a	67	68	1b	42	69	1c
08	09	37	1d	28	06	1e	29	08	1f	28	10	20	25	06	21	ba
09	fe	22	a8	01	23	c0	a8	24	0a	3b	25	4c	17	26	47	56
0A	27	36	02	28	c2	1a	29	72	73	2a	66	c8	2b	...		

Question C.3 DTS6	En utilisant le document technique DTS6, **déterminer** l'adresse IP source et l'adresse IP destination inclues dans cette trame. **En déduire** les appareils en liaison : source et destination.

On rappelle que la vitesse est codée sur deux octets liés au paramètre 0x26. Le premier représente la partie entière et le deuxième la partie décimale de cette vitesse.

Question C.4 DTS3, DTS6	La plage de données réelles représentative des paramètres de Solar Impulse 2 commence à l'octet numéro 02E. En utilisant les documents techniques DTS3 et DTS6, **trouver** dans cette trame les 2 octets relatifs à la vitesse de l'avion. Donner la valeur de cette vitesse puis **conclure**.

PARTIE D : Synthèse

Question D.1 | À partir des résultats obtenus dans les différentes parties, **conclure** sur cette étude de mesure de vitesse du Solar Impulse 2 en termes de précision, transmission et enregistrement.

Le même principe de chaîne d'information est utilisé pour l'ensemble des paramètres de l'avion Solar Impulse 2.

Question D.2 | **Expliquer** en quelques lignes l'intérêt de transmettre l'ensemble de ces paramètres de vol en temps réel.

DTS1 : Caractéristiques de différents capteurs permettant de connaître la vitesse d'un fluide ou d'un gaz

Capteur de débit d'un liquide



Le capteur de débit est constitué d'un rotor et d'un capteur à effet hall. Lorsque le liquide passe dans le capteur, le rotor génère des impulsions en fonction du débit. La fréquence de sortie varie en fonction de la vitesse du rotor. En connaissant le diamètre du tuyau, il est possible de calculer la vitesse du liquide.

Avantages : Facilité de mise en œuvre
Légèreté

Inconvénients : Précision 7%
Fonctionnement uniquement avec du liquide
Ne prend pas en compte les variables extérieures au circuit.

Anémomètre



L'anémomètre est constitué d'un rotor et d'un capteur à effet hall. Lorsque le vent frappe les coupelles demi-sphériques, le rotor génère des impulsions en fonction de sa vitesse de rotation. La fréquence des impulsions est donc directement liée à la vitesse du vent.

Avantages : Facilité de mise en œuvre
Bonne précision

Inconvénients : Fragilité de la partie en mouvement

Sonde Pitot



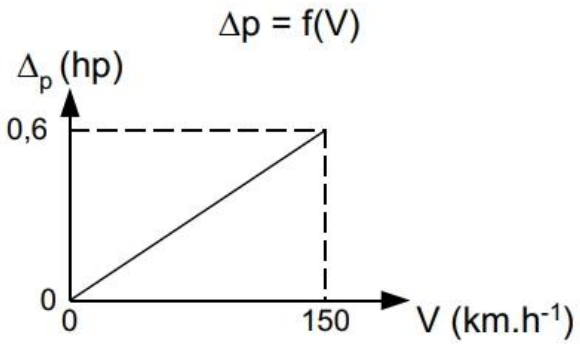
La sonde Pitot a été inventée par Henri Pitot en 1732. Ce tube de Pitot permet la détermination de la vitesse d'un fluide grâce à la mesure d'une différence de pression entre la pression statique Ps et la pression totale Pt. La vitesse du fluide est directement liée à cette différence de pression.

Avantages : Peu de pièces mécaniques en mouvement
Très bonne précision

Inconvénients : Nécessité d'avoir deux circuits (pneumatique et électrique)
Fonctionnement uniquement dans une direction

DTS2 : Caractéristiques des différents modules de la chaîne d'information « vitesse » du Solar Impulse 2.

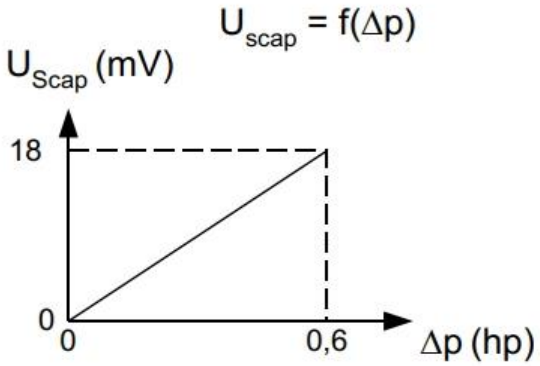
Différence de pression en fonction de la vitesse de Solar Impulse 2.



V : vitesse de l'avion

Δp : pression différencielle
hp : hecto pascal

Tension de sortie du capteur en fonction de la différence de pression.

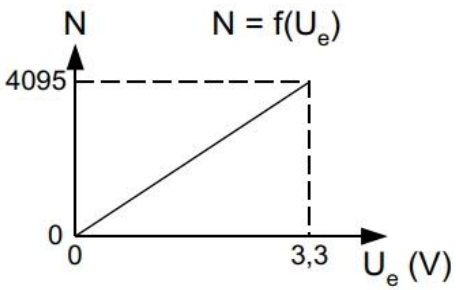


Δp : pression différencielle
hp : hecto pascal

U_{scap} : tension de sortie du capteur

Nombre entier N en fonction de la tension d'entrée du convertisseur.

Convertisseur Analogique - Numérique 12 bits ; U_{PE} = 3,3 Volt



U_{PE} :Tension pleine échelle, tension maximale d'entrée du convertisseur.

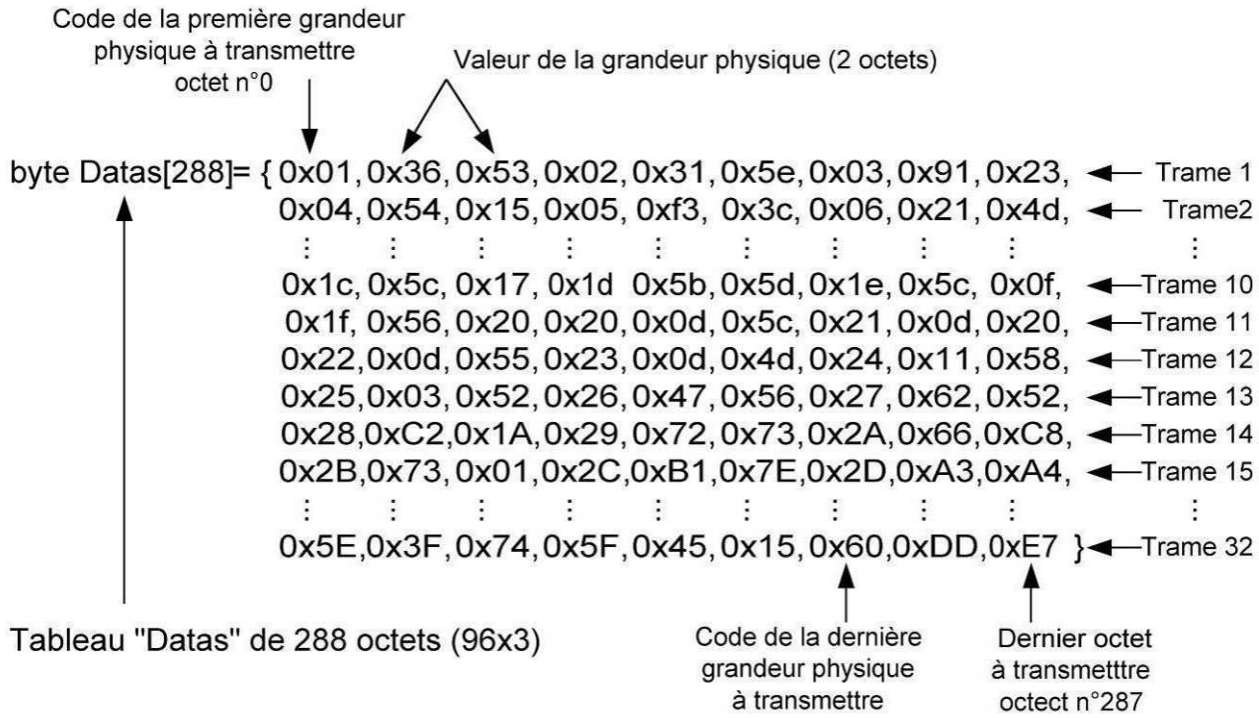
U_e :Tension d'entrée du convertisseur analogique numérique

N : valeur numérique image de U_e

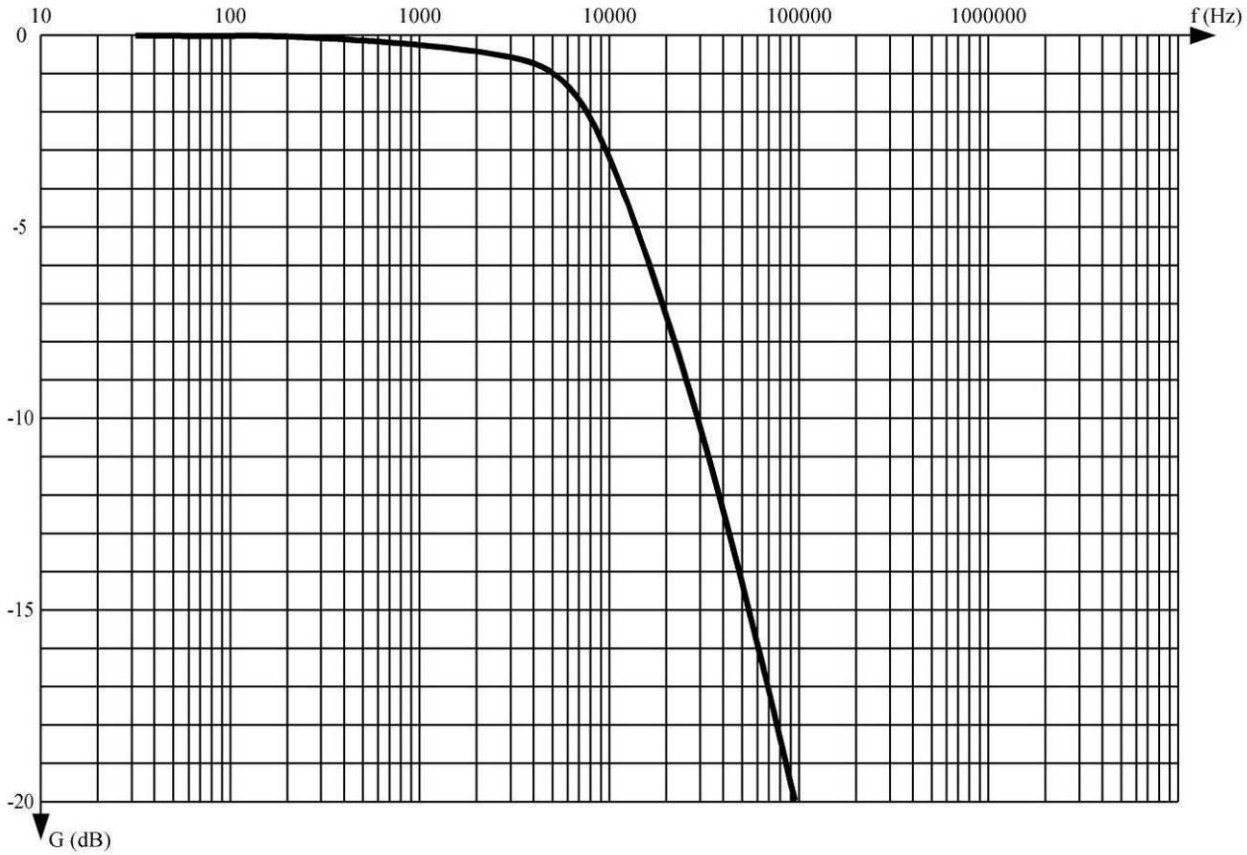
DTS3 : Partie du tableau donnant le code hexadécimal sur un octet en fonction du paramètre de l'avion.

Numéro	Paramètre	Code correspondant (1 octet)
01	Altitude	0x01
02	Tension Panneaux	0x02
27	% Charge Batterie 1	0x1C
28	% Charge Batterie 2	0x1D
29	% Charge Batterie 3	0x1E
30	% Charge Batterie 4	0x1F
31	Courant charge batterie 1	0x20
32	Courant charge batterie 2	0x21
33	Courant charge batterie 3	0x22
34	Courant charge batterie 4	0x23
35	Température extérieure	0x24
36	Température cockpit	0x25
37	Vitesse solar impulse	0x26
38	Pression extérieure	0x27
39	Pression cockpit	0x28

DTS4 : Architecture du tableau des données à transmettre au sol.



DTS5 : Courbe de réponse du filtre passe bas G = f(f).



DTS6 : Structure d'une trame Ethernet.

En tête Ethernet

En octets

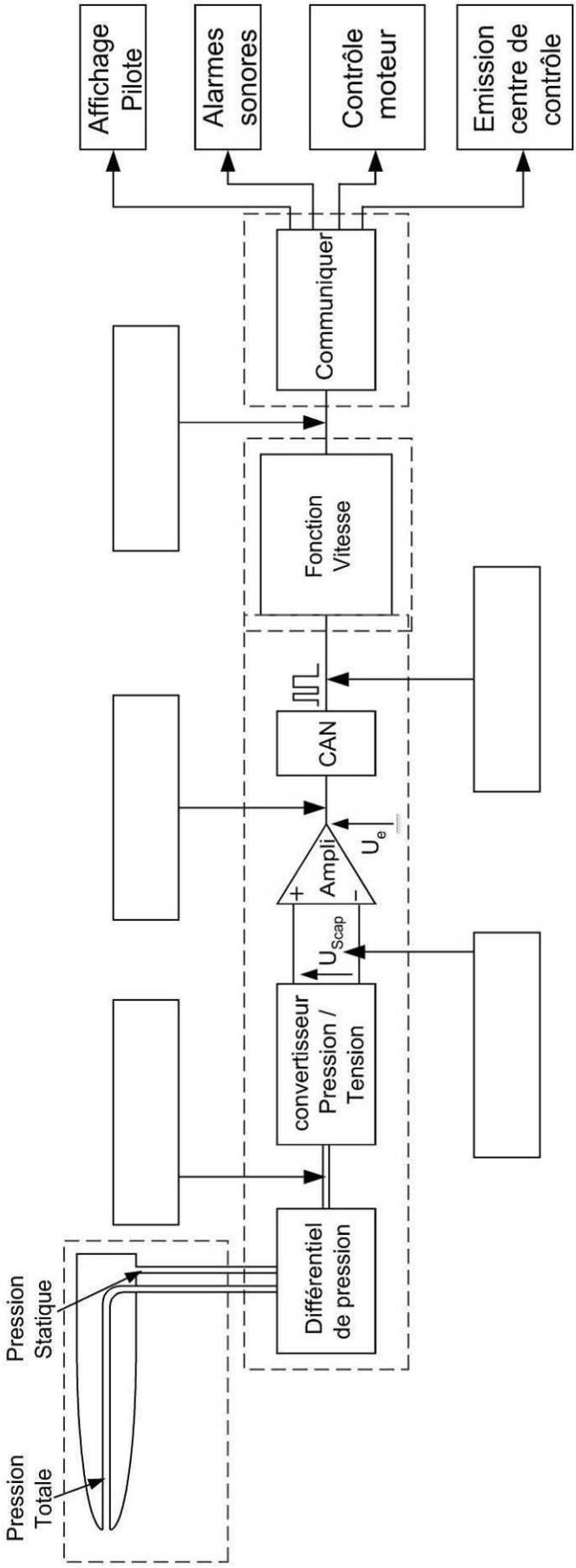
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	10	11	12	13	14	15	16	....	5e9	5ea	5eb	5ec	5ed
Préambule + SFD								Adresse MAC destination						Adresse MAC source						Type de données		Données encapsulées						FCS / CRC

En bits

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Version 4 bits				Longueur d'en tête 4 bits				Type de service 8 bits								Longueur totale 16 bits															
Identification 16 bits																Drapeau 3 bits			Décalage fragment 13 bits											
Durée de vie 8 bits								Protocole 8 bits								Somme de contrôle en tête 16 bits															
Adresse IP source 32bits																															
Adresse IP destination 32bits																															
Options éventuelles																												Bourage			
Données																															

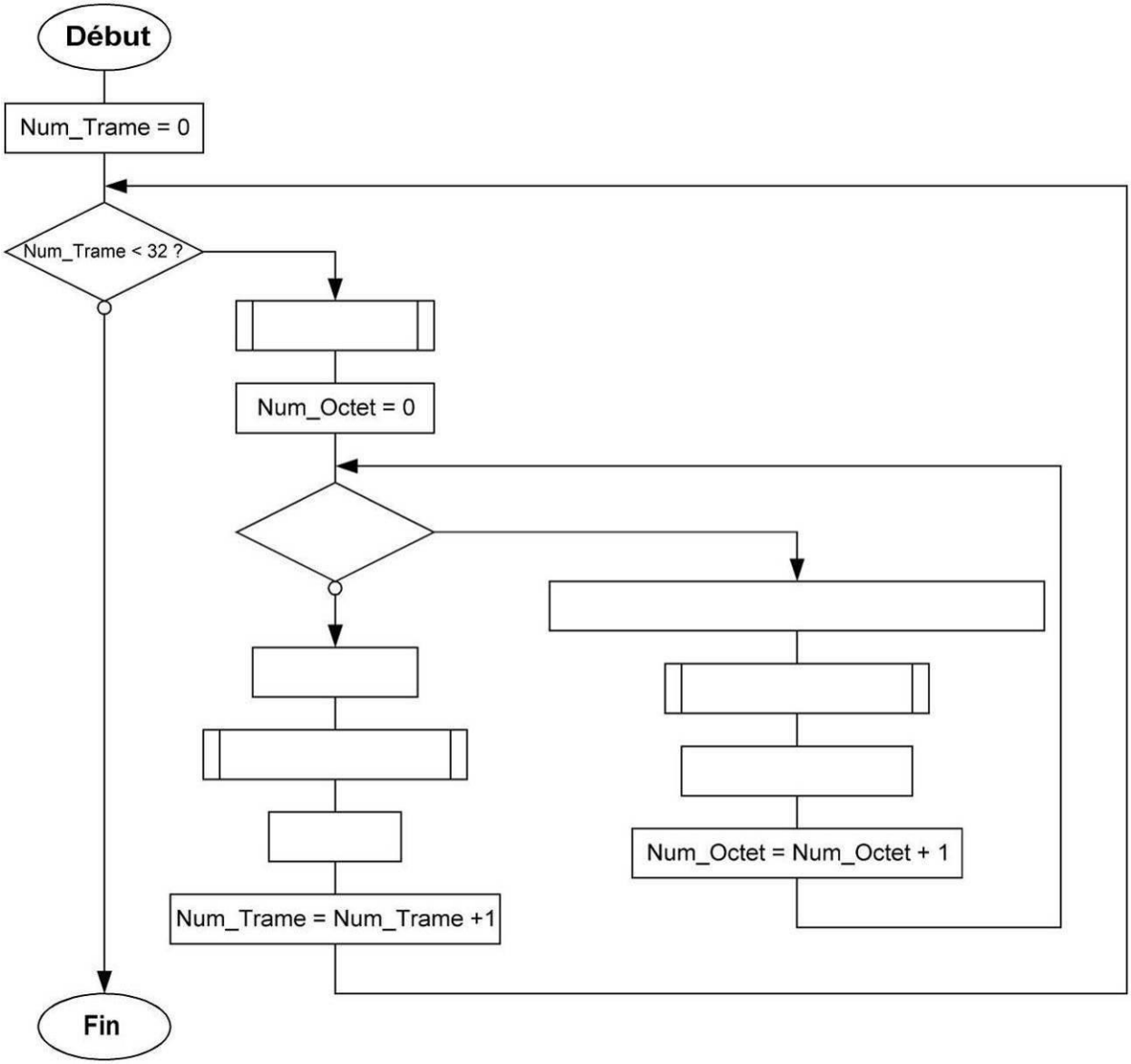
DRS1 : Chaîne d'information « Vitesse de Solar Impulse 2 ».

Question A.2



DRS2 : Algorigramme d'émission des trames.

Question B.1



DRS3 : Trame « Température cockpit » - « Vitesse Solar Impulse 2 » - « Pression extérieure ».

Question B.2

										0x44

Question B.3

Vitesse Solar Impulse II (Hexadécimal)		

DRS4 : Octets « Vitesse Solar Impulse 2 ».

Question C.2

octets « Vitesse Solar Impulse 2 » en modulation FSK.

