

BACCALURÉAT GÉNÉRAL

SÉRIE SCIENTIFIQUE

ÉPREUVE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Session 2013

Durée de l'épreuve : 4 heures

Coefficient 4,5 pour les candidats ayant choisi un enseignement de spécialité autre que sciences de l'ingénieur

Coefficient 6 pour les candidats ayant choisi l'enseignement de sciences de l'ingénieur comme enseignement de spécialité

Aucun document autorisé

Calculatrice autorisée, conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999



Thermographie aérienne d'une station de ski par ballon captif

Constitution du sujet

- **texte** pages 3 à 18
 1. *Analyse du besoin*
 2. *Réponse au besoin*
 3. *Analyse des écarts entre la traction attendue et les résultats obtenus avec le modèle de calcul en altitude*
 4. *Comparaison, en termes d'autonomie, des résultats de l'expérimentation réalisée en plaine avec les résultats obtenus avec un modèle multiphysique*
 5. *Décodage des informations issues de la carte GPS en vue de leur exploitation*
 6. *Conclusion sur la réponse apportée à la problématique initiale*
- **documents techniques** pages 19 et 20
- **documents réponses** pages 21 à 23

Le sujet comporte 30 questions.

Les documents réponses DR1 à DR3 sont à rendre avec les copies.

Thermographie aérienne d'une station de ski par ballon captif

La thermographie infrarouge est un outil de diagnostic permettant de détecter des variations thermiques locales et des déperditions de chaleur (ensemble des fuites calorifiques) sur des bâtiments publics ou privés.

La technique est basée sur la captation d'images par une caméra thermique, l'énergie émise ayant un rapport direct avec la température du matériau.

La thermographie infrarouge se limite à la mesure de températures de surfaces. La visualisation de défauts d'isolation, ignorés ou soupçonnés, peut être ainsi mise en évidence, tant sur des bâtiments anciens (visualisation des défauts à traiter en priorité) que sur des bâtiments neufs (qualité de réalisation).

Le rayonnement capté par la caméra est analysé et corrigé par un logiciel de calcul thermographique et le résultat final est une image correspondant à la répartition de la température sur la scène filmée.

Le thermogramme est généralement présenté en couleurs ou niveaux de gris. Chaque couleur ou niveau de gris représente un niveau de température défini.

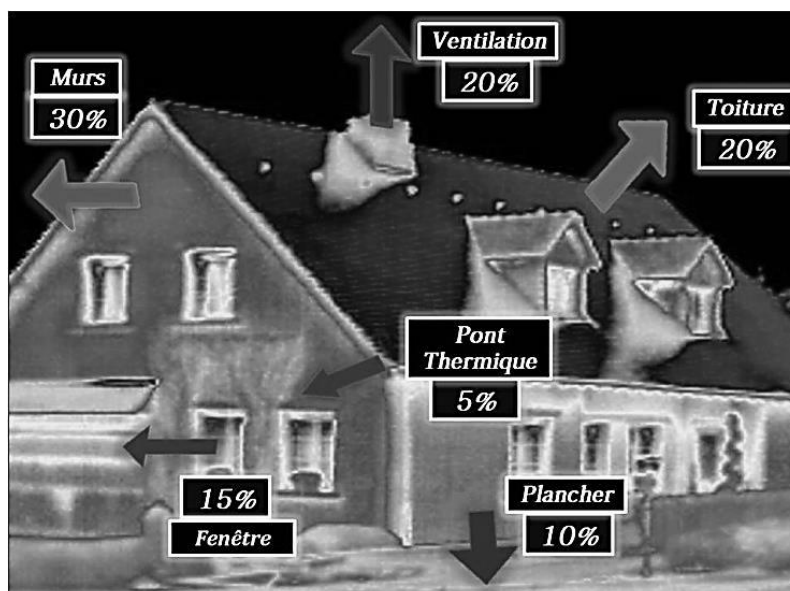


Figure 1 : thermogramme d'une maison individuelle
(<http://www.projetvert.fr>)

Les déperditions, ainsi mises en évidence, peuvent être dues à :

- des isolants de mauvaise qualité, dégradés ou sous-dimensionnés ;
- une existence de ponts thermiques⁽¹⁾ ;
- une présence d'humidité ;
- des défauts d'étanchéité.

La thermographie terrestre permet de réaliser des mesures sur les façades et sur des toitures peu élevées à l'aide d'un mât télescopique. La mise en œuvre est, dans ce cas, simple et particulièrement économique mais le champ d'action reste limité en hauteur.

(1) Un **pont thermique** est une zone ponctuelle ou linéaire qui, dans l'enveloppe d'un bâtiment, présente une variation de résistance thermique. Il est généralement situé à la jonction de deux parois.

La thermographie aérienne permet de réaliser des cartographies thermiques de toitures de bâtiments d'une grande hauteur, mais elle offre d'autres applications :

- détection des cavités souterraines ;
- détection de fuites hydrauliques souterraines importantes ;
- contrôle de centres d'enfouissement ;
- recherche des pollutions sur terre et en mer.

Type	Consommation de carburant	Niveau sonore	Prix de l'heure de vol	Hauteur de prise de vue	Émission de CO ₂	Type de mesures
Hélicoptère léger (2/3 places)	30 à 40 L · h ⁻¹	70 dB à 500 m	250 €	Mini 400 m	Oui	Toitures sur grande zone
Hélicoptère mono-turbine (5/6 places)	100 à 140 L · h ⁻¹	70 dB à 500 m	500 €	Mini 400 m	Oui	Toitures sur grande zone
Avion de tourisme	27 L · h ⁻¹	70 dB à 500 m	110 €	Mini 400 m	Oui	Toitures sur grande zone
ULM	12 à 14 L · h ⁻¹	35 dB à 500 m	60 €	Mini 400 m	Oui	Toitures sur grande zone
Ballon captif		0 dB à 30 m	30 €	Maxi 150 m	Non	Toitures, façades et sites difficiles d'accès

Tableau 1 : différents moyens de transport utilisés pour la thermographie aérienne

La thermographie par ballon captif (ballon relié au sol par un câble) permet de cibler plus précisément un bâtiment. Elle présente l'avantage de réduire les délais d'intervention, de simplifier les démarches administratives, et elle est sans danger pour les personnes présentes sur la zone d'intervention.

Le ballon, gonflé à l'hélium (gaz porteur plus léger que l'air), peut être équipé d'un système de géo référencement intégrant un récepteur GPS. La caméra thermique est fixée sur une nacelle, l'ensemble est piloté depuis le sol par un système de radiocommande. Les images sont visualisées en temps réel depuis le sol sur un écran de contrôle grâce à un système de transmission vidéo sans fil.

Pourquoi un tel projet ?

Le maire d'une commune de montagne incluant une station de ski située à 1 800 m d'altitude désire lancer une opération de thermographie aérienne. Lors des vacances d'hiver, la venue des vacanciers génère un revenu important pour la commune mais elle est aussi un facteur influant sur les dépenses énergétiques.

Le but de cette opération sera de valider le travail réalisé sur les constructions neuves et de mesurer les progrès effectués sur les bâtiments en cours de réhabilitation. Cette étude qui portera autant sur les toitures que les façades devra se dérouler en période froide pour être exploitable. Elle devra donc être sans nuisance pour les vacanciers qui affluent dans la station pendant cette période.

Une politique de maîtrise de l'énergie est un facteur de communication important auprès du grand public. Le maire espère donc, par la publication des résultats des travaux entrepris via un site internet, la presse et les plaquettes de l'office du tourisme, la valorisation de sa station.

1. Analyse du besoin

Objectifs de cette partie : **analyser** le besoin à l'origine des prises de vues thermographiques et **comparer** la solution retenue avec les autres solutions possibles.

Q1. Argumenter, en quelques lignes, sur l'intérêt d'une thermographie aérienne plutôt que terrestre.

Q2. Analyser les différents choix possibles de thermographie aérienne (tableau 1 page 4) et donner pour chaque solution les avantages et les inconvénients en complétant le tableau sur le document réponse **DR1**.

La solution qui est retenue est la prise de vues par ballon captif.



Figure 2 : ballon captif (<http://www.phodia.com>)

Le ballon est hissé en altitude par déroulement d'un câble en matière synthétique à haute performance sur le tambour d'enroulement du treuil.

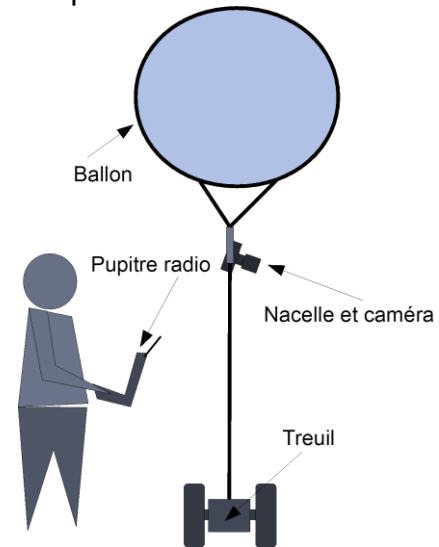


Figure 3 : dispositif par ballon captif

L'opérateur est au sol avec son pupitre de commande. Il peut piloter à distance l'orientation ainsi que le zoom de la caméra qui est suspendue au ballon par l'intermédiaire d'une nacelle. Le document technique **DT1** présente les chaînes d'information et d'énergie du système étudié.

FS1 : permettre à un opérateur d'effectuer des relevés de thermographie infrarouge sur une station de ski.

FS2 : être utilisable sous certaines conditions météo.

FS3 : s'adapter au terrain d'évolution.

FS4 : être utilisable quelle que soit l'altitude du terrain.

FS5 : être esthétique (aspect des matériaux, formes, couleurs, etc.).

FS6 : respecter les normes environnementales.

FS7 : connaître les coordonnées GPS de la prise de vue.

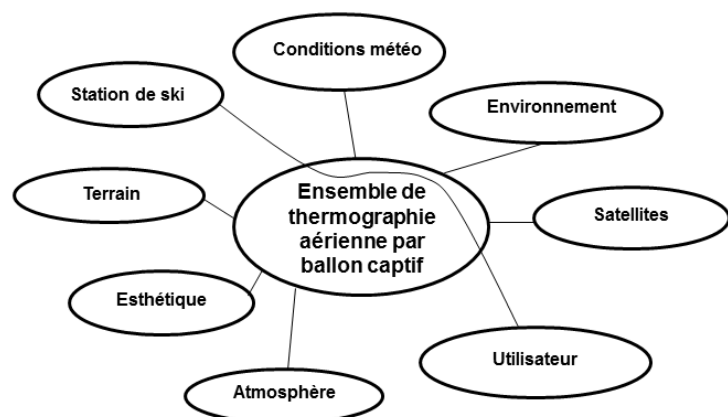


Figure 4 : diagramme des interacteurs

Q3. Compléter, sur le document réponse **DR1**, le diagramme des interacteurs avec les différentes fonctions énumérées. **Classifier** celles-ci dans les trois catégories proposées sur le document réponse **DR1**.

2. Réponse au besoin

Objectif de cette partie : **proposer** un choix de matériels permettant de répondre au besoin et aux contraintes particulières de la prise de vue thermographique dans une station de ski.

La caméra embarquée sous le ballon sera pilotée à distance, un module vidéo est ajouté pour transmettre l'image jusqu'au sol.

	FLIR P660	NEC AVIO TVS 500EXZ	Variocam HR Research
Modèle			
Résolution	640 × 480 pixels	640 × 480 pixels	1 280 × 960 pixels
Zoom	× 8	× 8	aucun
Masse	2,18 kg	1,5 kg	1,4 kg
Autonomie	3 heures	2 heures	3 heures
Dimensions	355 × 144 × 147 mm	226 × 140 × 140 mm	133 × 106 × 110 mm

Tableau 2 : caméras pour la thermographie

Q4. Donner, pour chacun des modèles de caméra ci-dessus, les avantages et les inconvénients pour l'utilisation souhaitée.

La nacelle porte la caméra, elle est motorisée pour orienter la caméra, les mouvements sont commandés depuis le sol par radiocommande. La caméra retenue est le modèle **NEC AVIO TVS 500EXZ**.



	Nacelle 1	Nacelle 2
Modèle		
Masse nacelle	800 g	1 100 g
Masse transportable	jusqu'à 1,2 kg	jusqu'à 4 kg
Structure	Carbone - aluminium	Carbone
Rotation horizontale	360° dans les 2 sens	360° dans les 2 sens
Inclinaison	100°	100°
Alimentation	2 batteries haute capacité	2 batteries haute capacité
Pilotage zoom	Rotation progressive	Rotation progressive
Pilotage caméra	Déclencheur infrarouge universel	Déclencheur infrarouge universel
Autres	Amortisseur élastomère	Amortisseur élastomère

Tableau 3 : nacelles pour ballon captif

Q5. Choisir, en le justifiant, un type de nacelle permettant le montage sous le ballon de la caméra sélectionnée.

Le treuil permet de dérouler et enrouler le (ou les) câble(s) de fixation du ballon.



<p align="center">Treuil électrique roulant</p> 	<p align="center">Treuil électrique dorsal</p> 
<p align="center"><i>Utilisation sur terrain plat, autonomie importante</i></p>	<p align="center"><i>Utilisation sur terrain difficile, autonomie réduite</i></p>
<p>Caractéristiques techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> - structure acier-inox ; - moteur 48 V/350 W ; - vitesse de rembobinage de 50 à 100 m·min⁻¹ ; - diamètre d'enroulement de 17 cm ; - capacité : 300 m, type Dynatran 300 kg ; - batteries au plomb 4 × 12 V - 12 A·h ; - masse linéaire du câble : 0,007 kg·m⁻¹ ; - débrayage manuel ; - variateur de vitesse ; - frein manuel ; - roues à crampons sur roulement à billes. 	<p>Caractéristiques techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> - structure aluminium-fibre de verre ; - moteur 250 W ; - vitesse de rembobinage de 0 à 50 m·min⁻¹ ; - diamètre d'enroulement de 20 cm ; - capacité : 2 × 400 m, type Dyneema 150 kg ; - batteries 36 V – 1 500 mA·h ; - masse linéaire du câble : 0,003 kg·m⁻¹ ; - traction : 10 kg ; - 3 compartiments de rangement ; - masse en ordre de marche 11,5 kg ; - sangles avec système anti-transpiration.

Tableau 4 : treuil pour ballon captif

Q6. Choisir, en le justifiant, le modèle de treuil adapté au type de relevés demandés.

La caméra retenue avec son module de transmission vidéo et les différents systèmes de fixation représentent une masse de 1,7 kg à laquelle il faut ajouter la nacelle et le câble, soit une masse totale de 3,7 kg.

Le ballon à utiliser doit permettre l'élévation de l'ensemble du dispositif dans de bonnes conditions.

Un ballon de type sphère est un produit peu coûteux et performant par faible vent. Ses performances sont vite limitées avec le vent car son coefficient de pénétration dans l'air (C_x) est très défavorable par rapport à celui d'un ballon dirigeable.

Un ballon dirigeable est très stable au vent, il apporte un confort appréciable et une facilité de travail sans commune mesure. Son gros inconvénient est la difficulté de son transport. Il impose d'utiliser une grosse remorque ou un camion.



Figure 5 : ballon sphère



Figure 6 : ballon gélule

Le ballon gélule est un compromis entre le ballon sphère et le ballon dirigeable.

Facilement transportable, il a également une bonne pénétration dans l'air.

	Dimensions (m)	Volume (m ³)	Masse (kg) enveloppe	Traction* (daN) maximale	Portabilité annoncée par le constructeur (kg)
Sphère 1	2	4,2	1,5	2,7	1,9
Sphère 2	2,3	6,4	2,0	4,4	2,6
Sphère 3	2,5	8,2	2,4	5,8	3,8
Gélule 1	2,9 × 1,6 × 2	5,6	2,4	3,2	2,1
Gélule 2	3,6 × 1,8 × 2,2	8,5	3,2	5,3	3,7
Gélule 3	3,8 × 2 × 2,3	10,5	3,7	6,8	4,5
Dirigeable 1	4,2 × 1,9	8	3,5	4,5	3,0
Dirigeable 2	5,0 × 2,0	10,2	3,8	6,4	4,5

**la traction correspond à l'effort ascendant que fournit le ballon pour porter les masses transportées et maintenir une tension dans le câble qui le relie au treuil.*

Tableau 5 : dimensions, caractéristiques et performances (en plaine) des différents ballons captifs

Q7. Choisir, en le justifiant, le modèle de ballon le mieux adapté.

Q8. Valider les choix effectués dans cette partie en complétant le diagramme FAST sur le document réponse **DR2**.

Q9. Justifier, en cinq lignes au maximum, le choix de la thermographie aérienne par ballon captif pour cette station.

3. Analyse des écarts entre la traction attendue et les résultats obtenus avec le modèle de calcul en altitude

Objectif de cette partie : vérifier les performances du ballon en altitude à partir d'un modèle d'équations physiques fourni et les comparer à celles annoncées par le constructeur.

Le ballon retenu est le ballon gélule 2 car il permet, d'après les données du constructeur, de transporter la caméra retenue associée à son module de transmission vidéo, les différents systèmes de fixation ainsi que la nacelle et le câble, soit une masse totale de 3,7 kg.

Cependant, les performances annoncées (voir tableau 5 page 8) correspondent à une utilisation à une altitude proche du niveau de la mer. La pression atmosphérique, plus faible en altitude, aura inévitablement une influence sur la traction du ballon.

La traction et la portabilité en altitude peuvent être calculées à partir d'un modèle théorique simplifié.

Modélisation des actions mécaniques :

- il est prévu d'utiliser le ballon à une altitude comprise entre 1800 m (altitude de la station de ski) et 1950 m (ballon en vol au bout de 150 m de câble) ;
- le ballon, en altitude au bout de son câble, est soumis à une action mécanique ascensionnelle (poussée d'Archimède) modélisée par une force dirigée vers le haut et s'exerçant au point G_b (voir **DR3**) ;
- l'ensemble {ballon, nacelle + caméra, câble déroulé} est soumis à l'action mécanique du câble enroulé sur le tambour du treuil qui l'empêche de s'envoler et modélisée par une force s'exerçant au point K (voir **DR3**) ;
- les actions mécaniques de la pesanteur sur le ballon, la nacelle + caméra et le câble déroulé sont modélisées par des forces s'exerçant respectivement aux points G_b , G_n et G_c (voir **DR3**). Prendre $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Définition de la poussée d'Archimède

Tout corps entièrement plongé dans un fluide au repos subit une force verticale, dirigée de bas en haut et opposée au poids du volume de fluide déplacé.

Formule internationale du nivellement barométrique

$$p(h) = 101325 \cdot \left(1 - \frac{0,0065 \cdot h}{288,15}\right)^{5,255} \quad (\text{en Pa})$$

Cette formule permet, dans une première approche, le calcul de la pression de l'air en pascal à une certaine altitude h (en m), sans avoir besoin de connaître la température.

Loi des gaz parfaits

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T} \quad (\text{en kg} \cdot \text{m}^{-3})$$

Cette relation permet de déterminer la masse volumique d'un gaz parfait en fonction de la pression p en pascal et de la température T en kelvin. R est la chaleur spécifique en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Pour l'air : $R = 287,05 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Q10. Représenter sur le document réponse **DR3** les différentes forces extérieures qui agissent sur l'ensemble {ballon, nacelle + caméra, câble déroulé}.

La traction du ballon correspond à la norme de l'effort ascendant qu'il est capable de fournir pour porter le matériel et tendre le câble qui le relie au treuil.

Sa valeur est donc égale à la différence entre la norme de la poussée d'Archimède à laquelle est soumis le ballon et la norme du poids de l'enveloppe du ballon et du gaz qui est à l'intérieur (hélium de masse volumique $0,178 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Q11. Déterminer en pascal la pression de l'air à l'altitude 1 950 m. **En déduire** la masse volumique de l'air à cette même altitude pour laquelle la température est de 275,5 kelvins.

Q12. Déterminer la traction du ballon gélule 2 exprimée en newton.

Pour la suite, considérer la traction égale à 40 N.

Le tableau 5 page 8 nous montre que la portabilité (masse transportable) d'un ballon gélule varie avec la traction. Le modèle de calcul qui permet de déterminer cette portabilité nous est cependant inconnu.

Q13. Tracer, à partir des données du tableau 5, une courbe de la portabilité annoncée par le constructeur en kg, en fonction de la traction en daN, pour les ballons de type gélule. **En déduire**, à l'aide de cette courbe, la portabilité effective du ballon utilisé.

Q14. Conclure sur la pertinence de ce choix de ballon.

4. Comparaison, en termes d'autonomie, des résultats de l'expérimentation réalisée en plaine avec les résultats obtenus avec un modèle multiphysique

Objectif de cette partie : **analyser** des écarts entre l'autonomie du système qui a été constatée au niveau de la mer par des essais et celle que l'on peut anticiper en altitude par simulation.

La conclusion de la question Q14 conduit à une remise en cause du choix de la gélule 2 comme ballon porteur. L'étude portera désormais sur la gélule 3 qui répond à la contrainte de portabilité de l'ensemble étudié.

La difficulté pour se déplacer en montagne sur certains lieux limite la possibilité de recharge des batteries du treuil. Des expérimentations avec le matériel choisi ont été réalisées en plaine au niveau de la mer et donnent une autonomie de l'ordre 35 montées et descentes du ballon.

La traction du ballon étant moins importante en altitude, l'autonomie devrait être supérieure. On se propose de l'estimer à partir des résultats de simulation d'un modèle multiphysique.

Analyse du modèle multiphysique

Le modèle (voir **DT2**) de la chaîne d'énergie du treuil avec la batterie, le moteur, la transmission et le câble ainsi que le ballon dans l'atmosphère nous permet de prendre en compte tous les paramètres de fonctionnement. Comme tout modèle, il comporte certaines simplifications :

- température constante entre 1 800 m et 1 950 m ;
- masse volumique et volume de l'hélium constants entre 1 800 m et 1 950 m ;
- exposant de la formule internationale du nivellement barométrique (page 9) égal à 5.

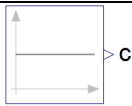
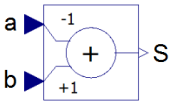
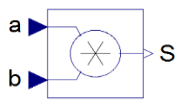
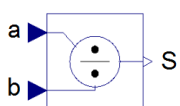
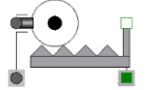
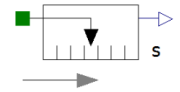
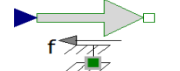
Constante		La valeur de la constante c est définie par le nombre placé en paramètre.
Additionneur / Soustracteur		La valeur en sortie est la somme ou la différence des deux entrées. Ici : $S = b - a$
Multiplieur		La valeur en sortie est le produit des deux entrées. Ici : $S = a \cdot b$
Diviseur		La valeur en sortie est le quotient des deux entrées. Ici : $S = a/b$
Transformateur de mouvement		Transformation de mouvement de rotation en translation (entrée : angle, sortie : distance). La valeur du <i>ratio</i> associé correspond au coefficient $\frac{\text{grandeur d'entrée}}{\text{grandeur de sortie}}$.
Capteur virtuel		Cet élément permet de mesurer une grandeur physique (vitesse, position).
Effort		Cet élément permet de convertir une valeur numérique en force.

Tableau 6 : définition des principaux opérateurs du modèle multiphysique

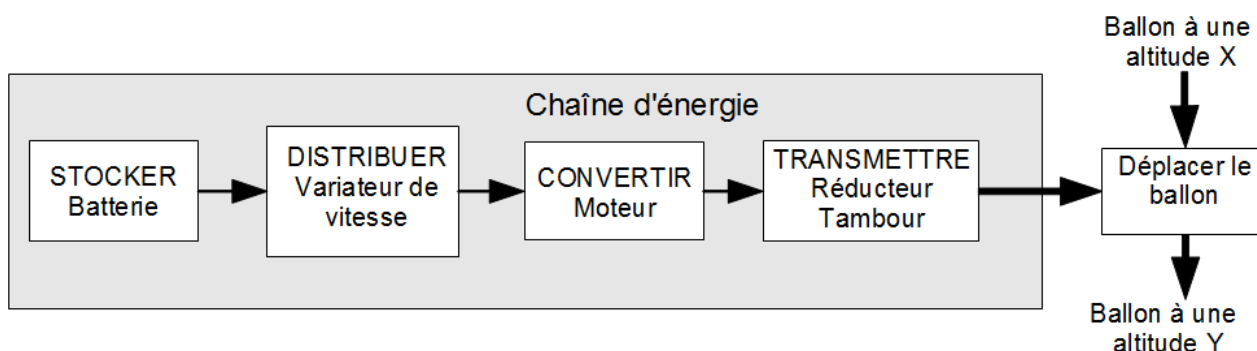


Figure 7 : chaîne d'énergie du treuil

La tension moyenne d'alimentation du moteur est de 12V. La vitesse angulaire en sortie du moteur est réduite par un réducteur à engrenages et une transmission par poulies et courroie crantées. Le tambour permet d'enrouler ou de dérouler le câble qui maintient le ballon.

Dans ce type d'utilisation, le système peut être considéré comme étant irréversible.

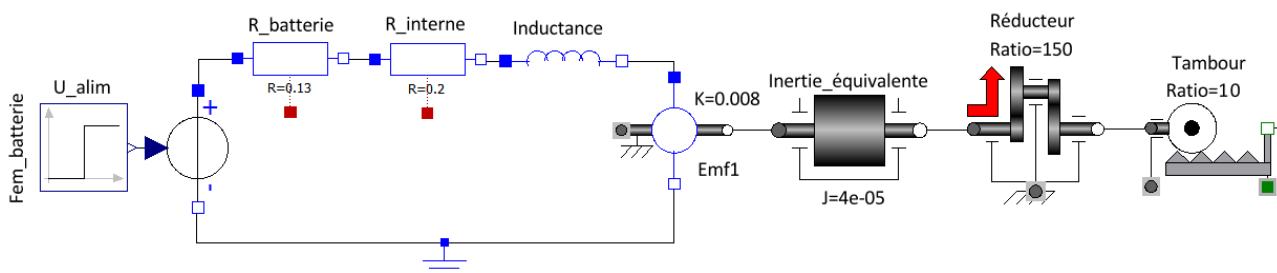


Figure 8 : modèle comportemental du treuil

La puissance en entrée du composant nommé tambour peut-être caractérisée par une grandeur d'effort de type *couple* (en N·m) et une grandeur de flux de type *vitesse angulaire* (en $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$).

Q15. Indiquer la nature et l'unité des deux grandeurs d'effort et de flux correspondant à la puissance en sortie du composant nommé tambour.

Q16. Justifier, à l'aide des données fournies dans le tableau 4 page 7, la valeur du paramètre « ratio = 10 », exprimé en m^{-1} , du composant nommé tambour, dont la définition est donnée dans le tableau 6 page 11.

Q17. Préciser les limites du modèle proposé pour le tambour assimilé à une simple transformation de mouvement de rotation en translation à paramètre constant.

Des essais de montée et descente du ballon ont été réalisés en plaine avec l'équipement de thermographie infrarouge. Le courant consommé en sortie de la batterie a été relevé toutes les dix secondes jusqu'à ce que le ballon atteigne la hauteur de 150 m. L'ensemble des valeurs et les tracés correspondants sont représentés ici.

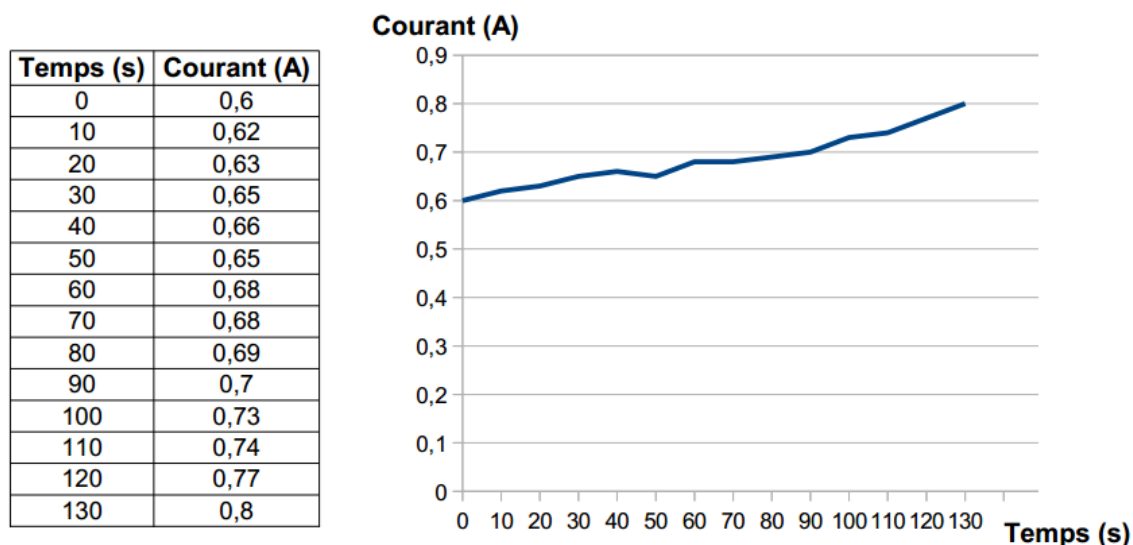


Figure 9 : mesures du courant consommé lors de la montée

Temps (s)	Courant (A)
0	1,8
10	1,84
20	1,87
30	1,91
40	1,93
50	1,98
60	2,02
70	2,05
80	2,09
90	2,11
100	2,16
110	2,16
120	2,2
130	2,26
140	2,3
150	2,33

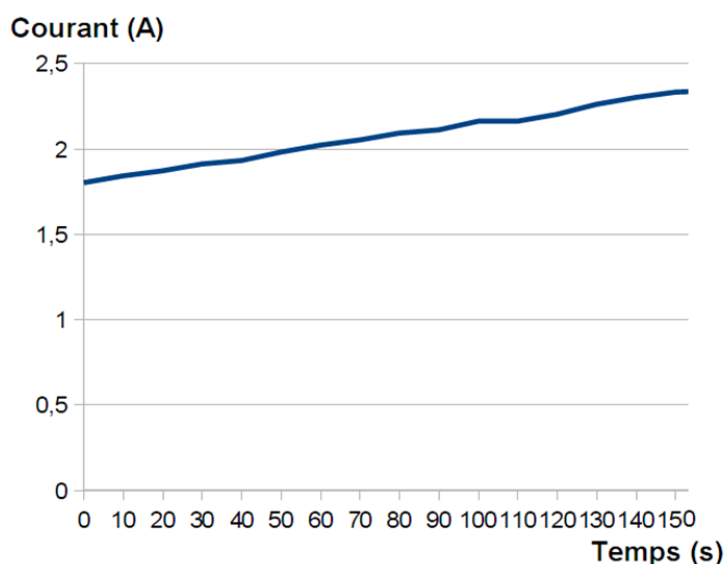


Figure 10 : mesures du courant consommé lors de la descente

Q18. Expliquer, en s'appuyant sur les valeurs des courants moyens et de la durée du mouvement, les différences de comportement entre la montée et la descente du ballon.

Pour limiter les phases de recharge, compte tenu du terrain accidenté, la batterie embarquée sur le treuil est une batterie de tension 36 V et de capacité 1 500 mA·h.

Q19. Calculer l'énergie disponible théoriquement dans cette batterie en watt-heure et en joule.

Pour simplifier la suite de l'étude, le rendement du variateur de vitesse est considéré égal à 100 %. L'énergie qu'il consomme sera donc négligée.

Q20. Calculer, compte tenu de la tension d'alimentation du moteur qui est de 12 V et du courant moyen, l'énergie consommée en joule pendant une montée et une descente du ballon.

Q21. Déduire de ces mesures le nombre de montées et de descentes possible entre deux recharges en plaine et comparer avec les valeurs constatées lors des essais.

Une première partie du modèle (voir DT2) permet de calculer la masse volumique de l'air en fonction de la température et de l'altitude. Cela va permettre de prendre en compte la variation des conditions atmosphériques en fonction de l'altitude.

Une autre partie du modèle permet de simuler le comportement du ballon dans l'atmosphère en déterminant l'effort de traction du ballon en fonction de différents paramètres.

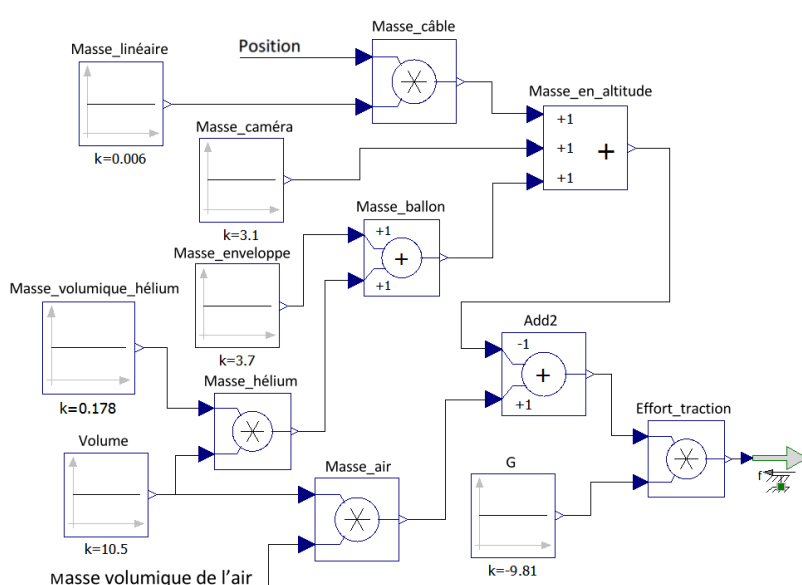


Figure 11 : modèle du ballon dans l'atmosphère

Dans ce modèle, le ballon se déplace selon une trajectoire strictement verticale.

Q22. Expliquer, en observant la figure 11 et le DT2, comment est calculée ici la masse du câble suspendu sous le ballon.

Q23. Expliquer, en observant la figure 11 et le DT2, comment est calculée la masse d'air déplacée par le ballon.

Q24. Indiquer, en observant la figure 11 et le DT2, le rôle de l'élément nommé « Masse_en_altitude ».

Le document technique DT1 présente deux courbes obtenues à partir de la simulation du modèle multiphysique.

La simulation a été réalisée pour une altitude comprise entre 1 950 m (ballon en vol au bout de 150 m de câble) et 1 800 m (arrivée du ballon au sol).

Q25. Calculer, compte tenu de la tension d'alimentation du moteur qui est de 12 V et des données issues de la simulation, l'énergie consommée en joule pendant une descente du ballon.

La simulation a permis de déterminer que l'énergie consommée pendant une montée est de 900 joules.

Q26. En déduire le nombre de montées et de descentes possibles entre deux recharges de batterie lorsque le ballon est utilisé en altitude.

Q27. Conclure sur l'hypothèse de départ concernant l'amélioration de l'autonomie en altitude.

5. Décodage des informations issues de la carte GPS en vue de leur exploitation

Objectif de cette partie : proposer une solution au décodage de la trame au format texte du GPS pour en extraire la position géographique de la prise de vue.

En montagne, il est plus difficile d'identifier précisément les lieux de prises de vues que dans une ville, dans laquelle chaque rue porte un nom et chaque bâtiment un numéro. Un point GPS est donc nécessairement associé à chaque prise de vue.

Cela peut être réalisé par un GPS de poche. Cependant, dans un souci d'ergonomie, il est souhaitable d'afficher directement la position en incrustation vidéo sur l'écran de contrôle.

Un module GPS est donc interfacé à la carte électronique. Les informations de sortie du GPS sont traitées par un microcontrôleur et transmises à l'écran de contrôle.

Ce module doit permettre de déterminer la longitude et la latitude du lieu.

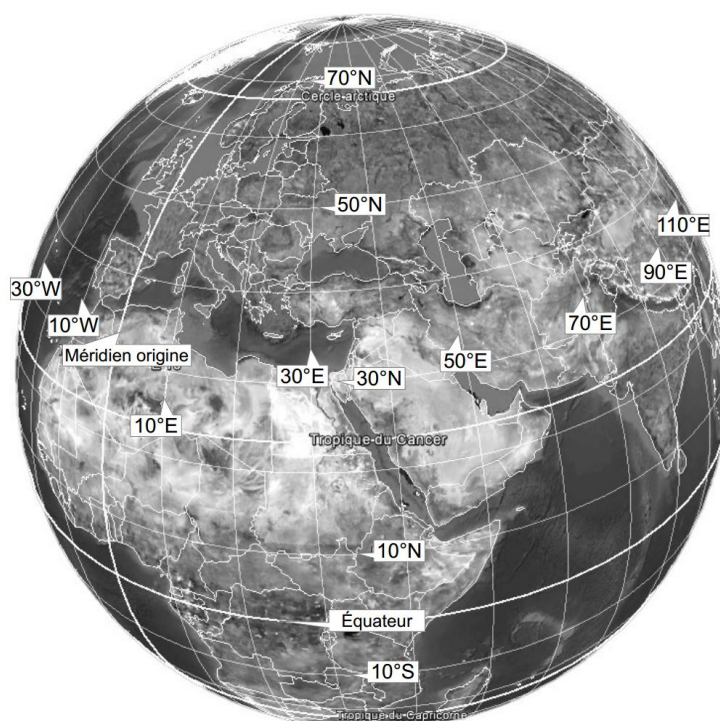


Figure 12 : latitudes et longitudes sur le globe terrestre

La latitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire. Elle caractérise la position d'un point sur Terre par rapport à l'équateur qui est le plan de référence. Elle est exprimée en degré vers le nord ou vers le sud.

La longitude est également une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire. Elle caractérise la position d'un point sur Terre par rapport au méridien de Greenwich. Elle est exprimée en degré vers l'est ou l'ouest.

Par exemple, la tour Eiffel se situe $48^{\circ} 51,497' N$ et $2^{\circ} 17,655' E$ (en degré et minute décimale d'angle).

Le GPS, pour Global Positioning System, que l'on peut traduire en français par « système de localisation mondial » est un système de géolocalisation.

Un récepteur GPS capte les signaux d'au moins quatre satellites équipés d'horloges atomiques. En calculant les temps de propagation de ces signaux depuis les satellites, il peut déterminer sa distance par rapport à ceux-ci. Il peut ainsi situer précisément en trois dimensions n'importe quel point sur Terre.

Les signaux émis par les satellites sont captés par l'antenne et traités par le module GPS.

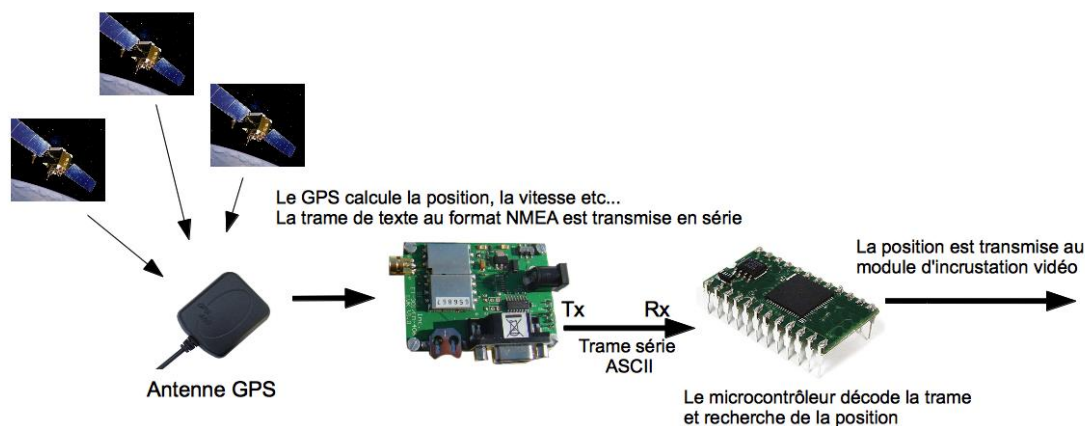


Figure 13 : chaîne d'acquisition du GPS

Pour recevoir la trame série codée en ASCII avec le microcontrôleur, il faut, dans un premier temps, configurer cette liaison. L'instruction *OPENCOM* permet d'ouvrir et de configurer le port série.

OPENCOM canal, débit, protocole, recvsiz, sendsizecanal :

- canal RS232, de 0 à 3 suivant type de circuit ;
- débit, en bits/s (ou bauds dans le cas d'une liaison série RS232) ;
- protocole, détaillé dans le tableau ci-dessous ;
- recvsiz, taille du buffer de réception ;
- sendsizecanal, taille du buffer d'émission.

Voici un exemple de configuration pour le canal 1 avec un débit de 9600 bits/s, des mots de 8 bits, une parité paire, 2 bits de stop et des buffers de 20 et 50 octets.

OPENCOM 1,9600,23,20,50

Chacun des bits de l'octet protocole a la signification suivante :

- le bit de poids faible bit0 et le bit1 déterminent la taille des mots ;
- le bit2 détermine le nombre de bits de stop ;
- le bit3 et le bit4 déterminent la parité.

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
			Parité		Stop Bit	Bit	# of Bits
			0	0 = Aucune	0=1 bit de Stop	0	0 = 5 bits
			0	1 = Reservé	1=2 bit de Stop	0	1 = 6 bits
			1	0 = Pair		1	0 = 7 bits
			1	1 = Impair		1	1 = 8 bits

Tableau 7 : définition du protocole du port série

Les données présentes en sortie du module GPS sont transmises sur le canal 1 du microcontrôleur au format de 8 bits, avec un débit de 4 800 bits/s, un bit de stop et sans contrôle de parité. Le buffer de réception (mémoire tampon) est fixé à 50 octets et celui d'émission à 0.

Q28. Déterminer l'ensemble des paramètres à passer à l'instruction OPENCOM.

Pour tester le dispositif, la trame issue du module GPS a été transmise vers le port série d'un ordinateur et affichée au format texte dans un logiciel de type terminal.

La trame est transmise en boucle par le GPS. Cette trame est au standard NMEA, elle comporte de nombreuses informations telles que l'heure, la vitesse, la position, etc.

La virgule est utilisée pour séparer les différents champs.

```
$GPGGA,122755.095,4849.7970,N,00134.7688,W,1,03,2.3,-48.0,M,48.0,M,,0000*54
$GPGSA,A,2,27,26,05,,,,,,,,,2.5,2.3,10*30
```

Figure 14 : trame NMEA transmise par le GPS

La trame ci-dessus a été reçue à la position **48° 49,7970' N** (Nord) et **1° 34,7688' W** (Ouest).

Le traitement des chaînes de caractères nécessite de bien les identifier et d'en connaître précisément le format.

Le format numérique de la longitude est différent de celui de la latitude avec un chiffre significatif supplémentaire. Ceci s'explique par la valeur de l'angle qui ne dépasse pas 90° pour une latitude et qui peut atteindre 180° pour une longitude.

L'objectif est d'extraire les suites de caractères définissant la latitude et la longitude, afin d'afficher la position géographique de la prise de vue sur l'écran de contrôle.

Chaque ligne débute par un caractère \$. Il faut ensuite repérer la suite de caractères GPGGA, puis passer deux virgules pour commencer à lire les informations relatives à la latitude.

L'algorithme permettant d'extraire la latitude de la trame NMEA est fourni ci-dessous. Les phrases notées en italique et précédées par // sont des commentaires.

*// La fonction **serie(x,y)**, appelée plusieurs fois, permet de lire le nombre **y** d'octets reçus successivement sur le port **x**. Pour lire un seul octet, il suffit de positionner **y** à 1.*

// Déclaration des variables

reception, latitude, longitude de type chaîne de caractères

compteur de type entier

// Recherche de l'entête de la trame NMEA

Début

reception ← "" *// Initialisation de la variable **reception** avec une chaîne vide*

Répéter *// Recherche de la suite de caractères \$GPGGA*

Répéter

reception ← serie(1,1)

Jusqu'à **reception** = "\$"

reception ← "" *// Réinitialisation de la variable **reception** avec une chaîne vide*

reception ← serie(1,5)

Jusqu'à **reception** = "GPGGA"

*// La variable **reception** ayant maintenant pour contenu la suite de caractères **GPGGA**, on recherche le début de la chaîne de caractères relative à la latitude*

reception ← "" *// Réinitialisation de la variable **reception** avec une chaîne vide*

compteur ← 0 *// Initialisation de la variable **compteur***

Pour **compteur** allant de 1 à 2

Répéter

reception ← serie(1,1)

Jusqu'à **reception** = ","

reception ← "" *// Initialisation de la variable **reception** avec une chaîne vide*

Fin pour

// Lecture de la suite de caractères relative à la latitude

latitude ← "" *// Initialisation de la variable **latitude** avec une chaîne vide*

latitude ← serie(1,11) *// La variable **latitude** contient maintenant la bonne valeur*

*// Appel de la fonction **afficher (variable,1)** qui permet de convertir les derniers caractères stockés dans la variable **reception** en une donnée lisible par l'opérateur et d'afficher ces informations sur la première ligne de l'écran de contrôle.*

afficher (**latitude**,1)

Q29. Compléter l'écriture de cet algorithme afin d'extraire et d'afficher la longitude.

6. Conclusion sur la réponse apportée à la problématique initiale

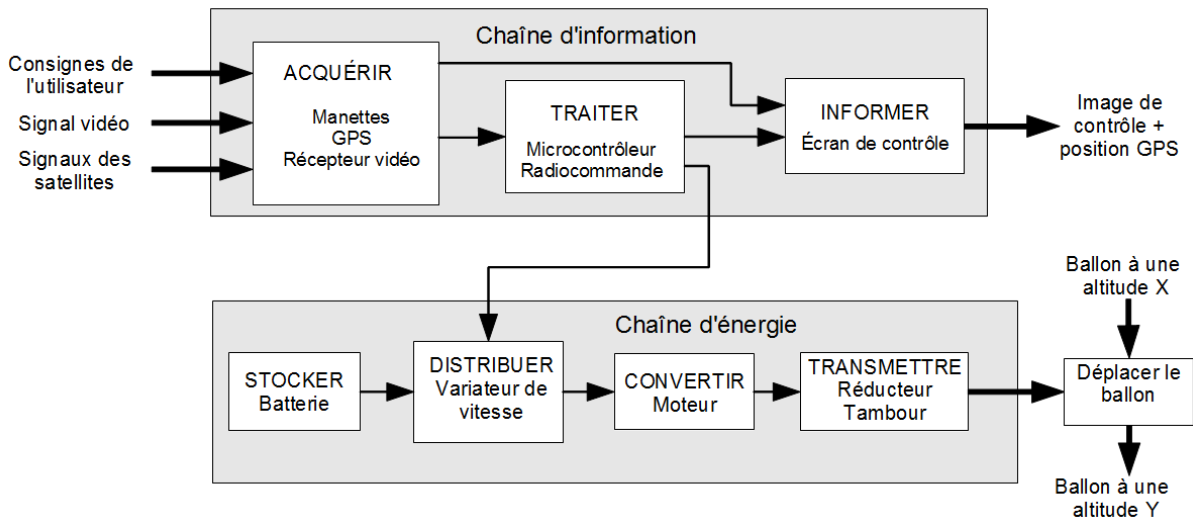
Objectif de cette partie : **proposer** une synthèse du travail réalisé.

Le ballon captif est habituellement utilisé en plaine, les choix technologiques réalisés doivent permettre son utilisation pour le besoin exprimé ici.

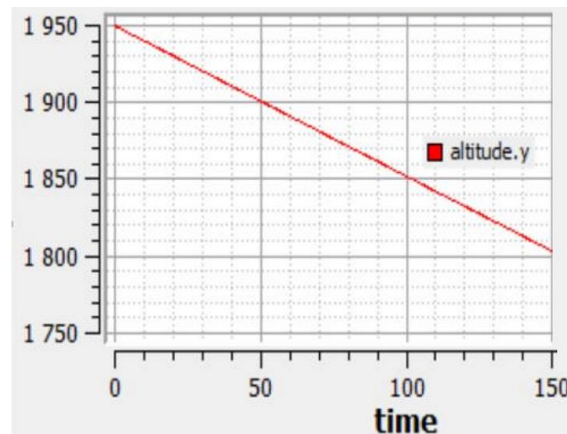
Q30. Résumer, en cinq lignes au maximum, la démarche qui a permis d'arriver à une solution exploitable en altitude élevée.

Document technique DT1

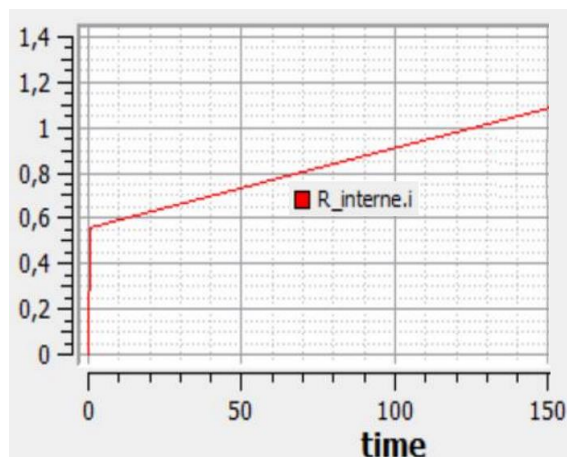
Chaîne d'information et d'énergie du dispositif de photographie



Résultats de simulation du modèle multiphysique (descente du ballon)



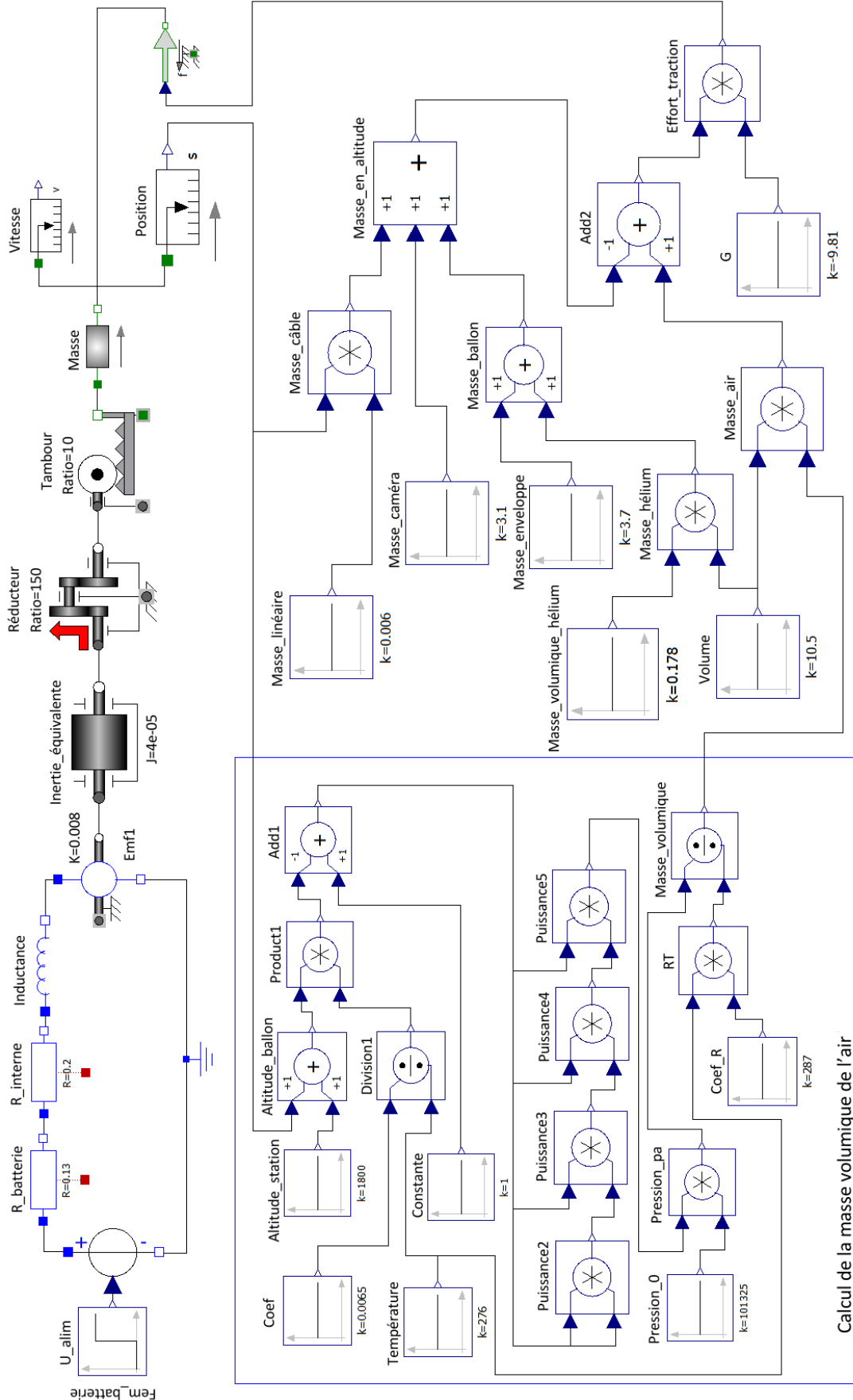
Variation de l'altitude en mètre en fonction du temps en seconde



Variation du courant en ampère en fonction du temps en seconde

Document technique DT2

Modèle multiphysique



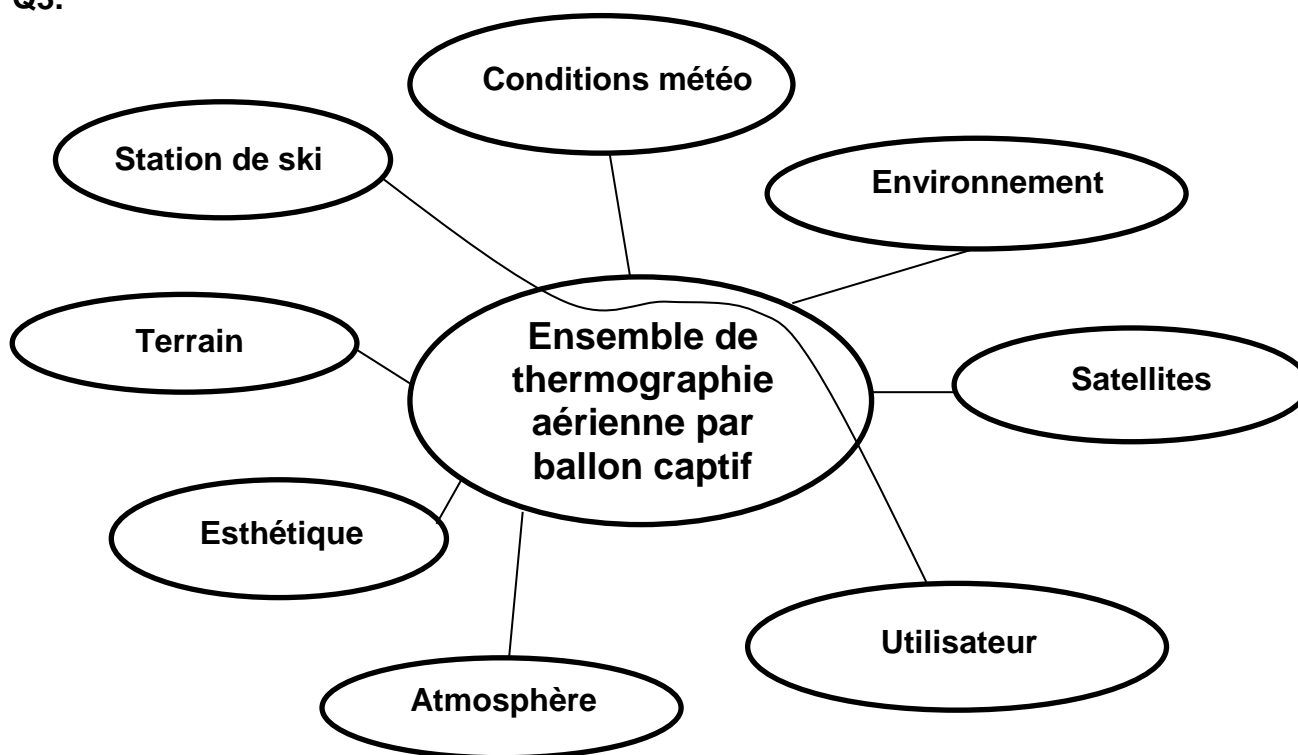
Document réponse DR1

Q2.

	Thermographie par hélicoptère	Thermographie par avion	Thermographie par ULM	Thermographie par ballon captif
Nuisances sonores				
Production de CO ₂				
Précision des prises de vue				
Thermographie façades				
Thermographie toitures				
Démarches administratives				

Quantifier par *oui, non, élevé, faible, modéré*

Q3.

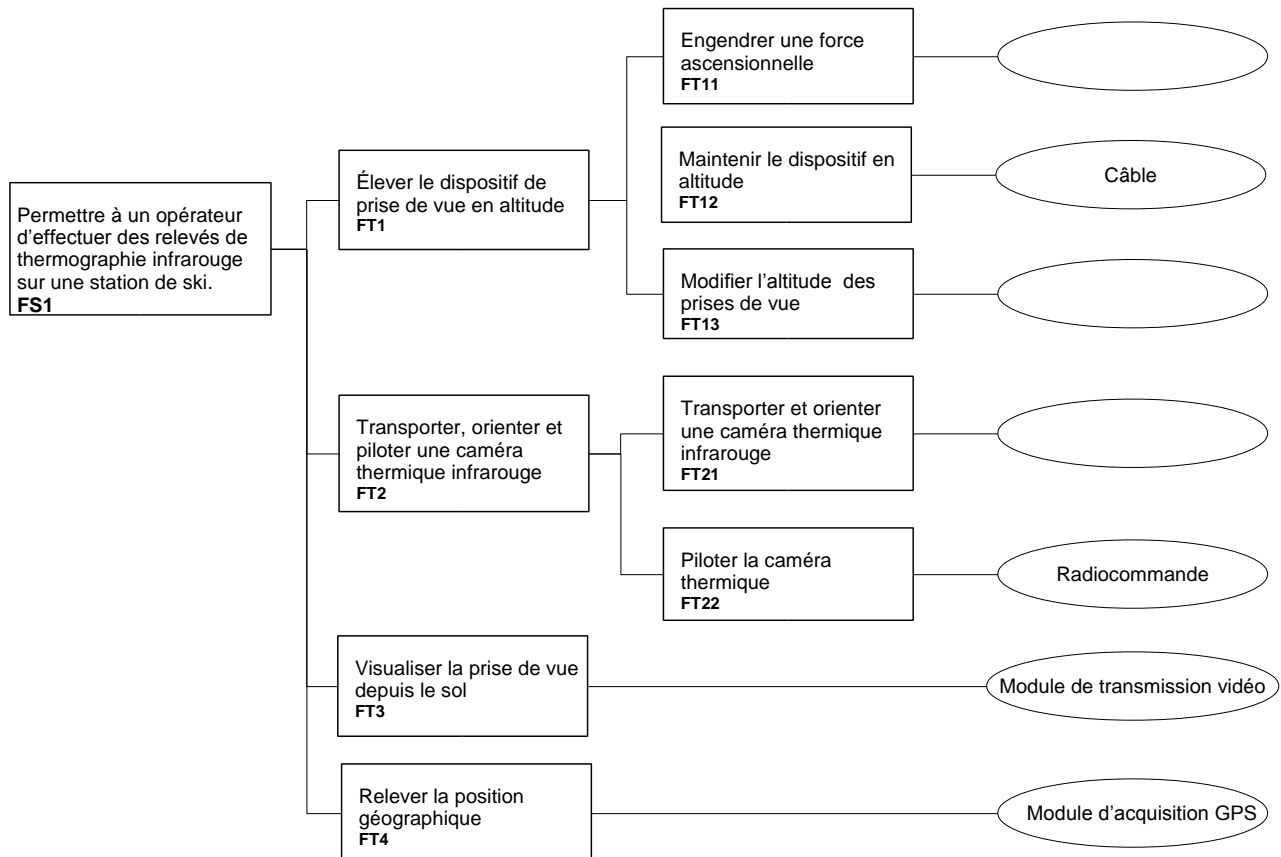


	FS1	FS2	FS3	FS4	FS5	FS6	FS7
fonctionnelle							
sociétale							
environnementale							

Compléter avec des **croix**.

Document réponse DR2

Q8.



Document réponse DR3

Q10.

