

Robert Papanicola

CARNET DE TD

DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR



PCSI et MPSI

- Exercices de difficulté variable
- Devoirs transversaux adaptés de sujets de concours
- Tous corrigés de façon détaillée



CARNET DE TD DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

PCSI et MPSI

Robert Papanicola

Professeur de chaire supérieure
au lycée Charlemagne (Paris IV^e)



ISBN 9782340-054318
© Ellipses Édition Marketing S.A., 2020
32, rue Bargue 75740 Paris cedex 15



Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5.2° et 3°a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Avant-propos

Cet ouvrage s'articule autour du programme de sciences industrielles de l'ingénieur (SII) de première année des classes préparatoires aux grandes écoles.

Complément indispensable du *Manuel de sciences industrielles de l'ingénieur (SII) - PCSI et MPSI* chez le même éditeur, il permet aux élèves d'approfondir les notions abordées en cours et de conforter leurs acquis.

Ainsi, un grand nombre d'exercices de difficulté variable, tous corrigés de façon détaillée, leur permettra de couvrir les différents points du programme de sciences industrielles.

Les exercices sont classés par chapitre du programme :

- Ingénierie des systèmes (SysML, chaînes d'énergie et d'information, ...).
- Étude des systèmes asservis (transformée de Laplace, schéma-blocs, réponse temporelle et fréquentielle, ...).
- Cinématique du solide (position, vitesse, accélération, torseur cinématique, fermeture géométrique et cinématique, liaisons et mécanismes, engrenages).
- Actions mécaniques et statique des solides (modèle local, modèle global, torseur d'action mécanique, PFS, ...).
- Numération et systèmes à événement discret (logique combinatoire et séquentielle, machine à états, codage, ...).

Enfin, une dernière partie comporte des devoirs transversaux adaptés de sujets de concours.

Un index en fin de manuel permet de retrouver les exercices en fonction des mots clefs du cours.

Ce carnet d'exercice est destiné en priorité aux élèves de MPSI et PCSI. Il aborde une partie du cours des PTSI, des TSI et ATS.

Table des matières

Avant-propos	1
Modélisation des systèmes et ingénierie	5
Ex.1- Système de mesure de cavité souterraine	5
Ex.2- Simulateur de vol - Analyse fonctionnelle	11
Ex.3- Robot tondeur	15
Corrections	19
Systèmes linéaires et asservis	23
Ex.4- Réponse temporelle d'un signal créneau	23
Ex.5- Réponse temporelle d'un second ordre généralisé	23
Ex.6- Analyse fonctionnelle d'un four de traitement thermique	24
Ex.7- Identification fréquentielle d'un second ordre	25
Ex.8- Analyse réponse temporelle	25
Ex.9- Résolution par la transformée de Laplace	26
Ex.10- Identification BF-BO	26
Ex.11- Identification fréquentielle	27
Ex.12- Asservissement d'altitude d'un ballon à air chaud	29
Ex.13- Étude d'un système linéaire bouclé	32
Ex.14- Système de pendulation	32
Ex.15- Régulation d'un réacteur chimique	38
Ex.16- Caractérisation d'un filtre	39
Ex.17- Filtre réjecteur	41
Ex.18- Identification fréquentielle à partir des diagrammes de Bode	42
Ex.19- Identification d'un système	43
Ex.20- Borne motorisée rétractable	43
Ex.21- Régulation de niveau	45
Ex.22- Suspension de camion	47
Ex.23- Système de distribution de barres	53
Corrections	59
Cinématique du solide	89
Ex.24- Portail de garage	89
Ex.25- Mesure topographique	90
Ex.26- Machine de conditionnement	91
Ex.27- Table élévatrice	95
Ex.28- Mécanisme à poussoir et galet	96
Ex.29- Robot « Rostock »	98
Ex.30- Robots parallèles à bras coulissants	99
Ex.31- Peigne vibreur pour la récolte des olives	101
Ex.32- Robot « Ericc »	105
Ex.33- Tête de boucheuse	109
Ex.34- Variateur Graham : étude cinématique	111
Ex.35- Étude cinématique du pont du cap Pinède	113
Ex.36- Banderoleuse de palettes	115
Ex.37- Aérogénérateur - Transmission de puissance	117
Ex.38- Système de calage angulaire pour imprimerie	120

Ex.39- Groupe d'exploitation hydraulique	121
Ex.40- Roue électrique Airbus	122
Ex.41- Système de distribution de barres.....	125
Corrections	129
Actions mécaniques et statique des solides	155
Ex.42- Arc-boutement	155
Ex.43- Tapis de pesée du robot de traite.....	156
Ex.44- Détermination de la courroie d'un lanceur	158
Ex.45- Frein à disques	161
Ex.46- Robot mobile du bâtiment	162
Ex.47- Modélisation d'un peson	164
Ex.48- Machine d'essai de frottements	165
Ex.49- Système de levage multi-colonnes	166
Ex.50- Portes arrière de Berlingo	170
Ex.51- Pince de levage	172
Ex.52- Simulateur de vol - Compensateur de pesanteur	173
Ex.53- Cabine de téléphérique	175
Ex.54- Robot de dépose de joint	178
Corrections	181
Numération et systèmes à événement discret	203
Ex.55- Demi-additionneur et additionneur	203
Ex.56- Étude d'un comparateur	203
Ex.57- Code complément à 2	205
Ex.58- Bascule RS	205
Ex.59- Capteur de position incrémental.....	206
Ex.60- Commande d'un volet	207
Ex.61- Robot de peinture pour cabine - Codage	208
Ex.62- Détecteur de front	209
Ex.63- Sécurité « Homme-mort »	210
Ex.64- Stockage tampon	211
Ex.65- Banderoleuse de palettes	214
Ex.66- Pont du cap Pinède	215
Corrections	218
Devoirs de synthèse	227
Ex.67- Presse à foin	227
Ex.68- Chaudière à bois déchiqueté	238
Ex.69- Sinusmatic	248
Ex.70- Étude d'un centre d'usinage 5 axes	254
Corrections	265
Annexes	287
Mécanique	287
Tableau des liaisons	287
Automatique	290
Transformées de Laplace	290
Abaque des dépassements	291
Abaque des temps de réponse.....	291
Liens utiles	292
Mots clefs	293

Modélisation des systèmes et ingénierie

Exercice 1 - Système de mesure de cavité souterraine

Adapté de CCP TSI 2010

Corrigé page 19

A. Présentation du système

A.1. Problématique

Le sous-sol français possède de nombreuses cavités soit naturelles (coulées de lave...) soit liées à des activités humaines (mines...).

Les terrains constructibles se faisant de plus en plus rares, on est amené à construire dans des zones où les sous-sols sont médiocres. Afin de limiter le risque d'effondrement et de connaître l'extension des cavités, des études de terrains sont réalisées.

Actuellement, la présence d'une cavité est détectée en surface à l'aide de moyens électromagnétiques mais son volume et sa position exacte ne sont pas mesurables par ces moyens externes. Le Centre d'Expertise du Bâtiment des Travaux Publics (CEBTP) utilise une mesure par télémètre laser.

Une fois la cavité décelée, le CEBTP procède à un forage vertical en profondeur d'un diamètre de 104 mm pour atteindre la cavité. Un outil « sonde » est introduit et transmet les mesures en surface.

Le volume de la cavité est alors calculé et une visualisation 3D peut être générée (voir figure 1.2).

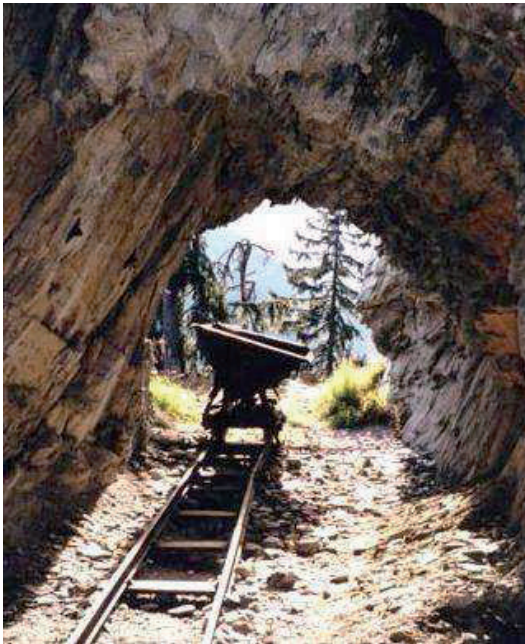


FIGURE 1.1 – Cavité minière

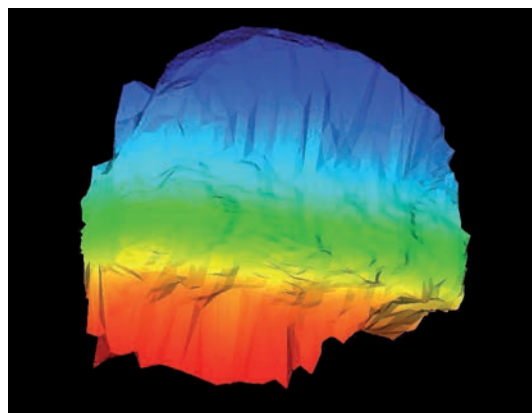


FIGURE 1.2 – Visualisation 3D d'une cavité

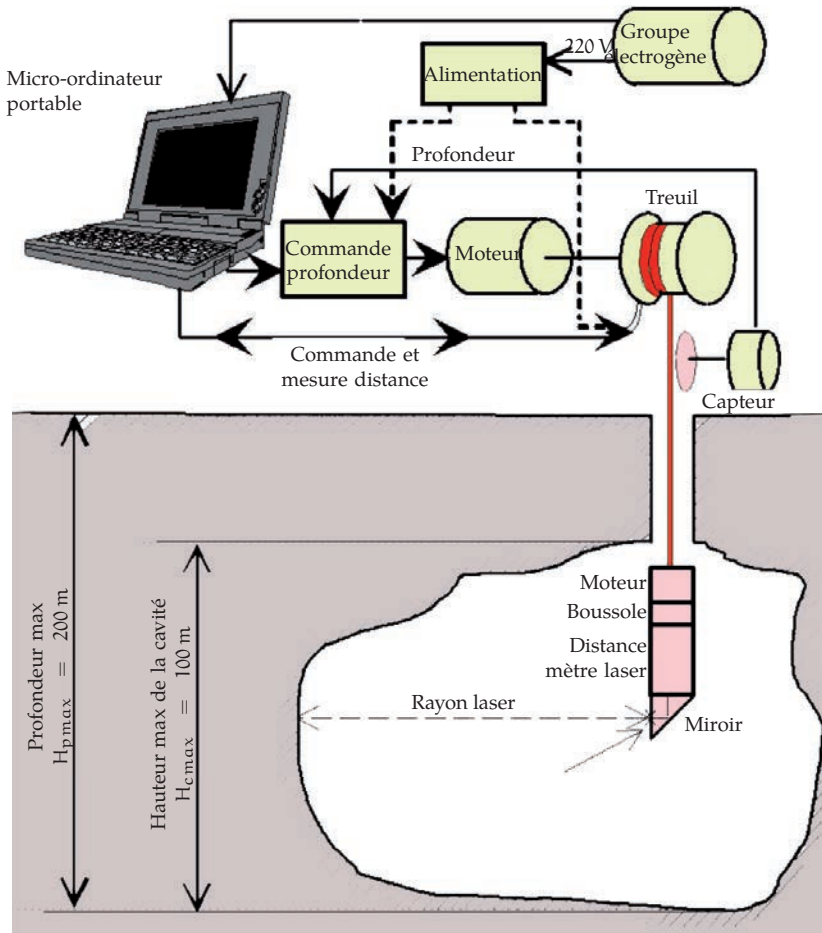


FIGURE 1.3 – Schéma fonctionnel du mesureur de cavité

A.2. Principe de fonctionnement

Le système étudié peut se décomposer en trois parties (voir figure 1.3) :

- la partie commande du système : un ordinateur industriel (API) et un micro-ordinateur,
- le système de déplacement de la sonde, composé d'un ensemble motoréducteur et variateur, accouplé à un tambour sur lequel s'enroule un câble permettant la montée et la descente de la sonde dans le trou de forage par un système de poulies,
- la sonde en tant que telle (voir le document technique DT1 (figure 1.4)) permettant l'acquisition de la forme de la cavité,
- la position de la sonde est mesurée par un codeur (capteur) entraîné par le câble par une roue de friction.

Par l'intermédiaire d'un câble enroulé sur le tambour, la sonde de mesure est descendue en vitesse lente ($V_\ell = 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) jusqu'au bas du tubage puis en vitesse rapide ($V_r = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) jusqu'au fond de la cavité. Elle y réalise sa première mesure de distance par rapport à la paroi de la cavité. La mesure utilise le principe de réflectométrie laser : la sonde comporte un télémètre laser qui mesure la distance entre l'axe vertical du câble et le bord de la paroi.

La sonde dispose d'une partie mobile qui est mise en mouvement grâce à un moteur pas à pas (voir figure 1.4) : cela lui permet d'effectuer une série de mesures sur 360° pour une profondeur donnée.

Le principe de la mesure consiste à remonter la sonde par paliers successifs. Pour chacun de ces paliers, on effectue une série de mesures :

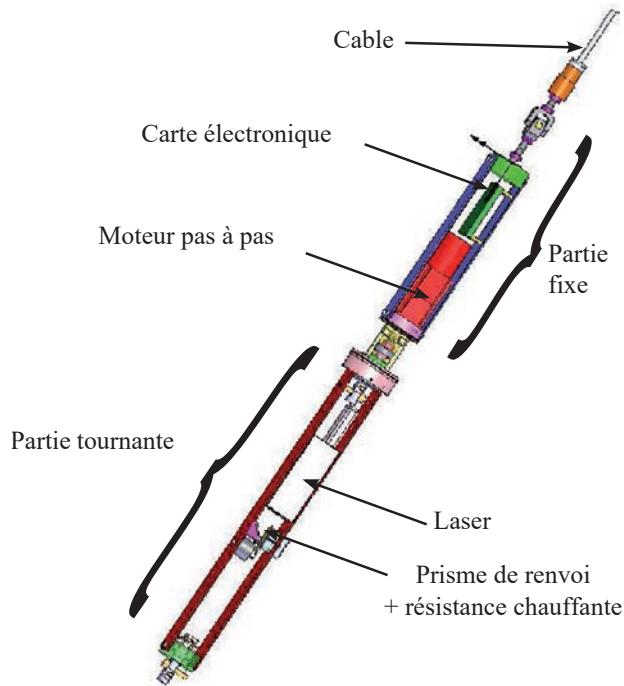


FIGURE 1.4 – Document technique DT1

- une résistance chauffante « tapis chauffant » est alimentée avant chaque série de mesure pour éviter toute formation de buée sur le miroir de renvoi du télémètre ;
- un moteur pas à pas de 200 pas/tour va permettre de faire tourner le télémètre de $p_a = 1,8^\circ$ par pas toutes les $t_a = 0,1$ s. Ainsi on pourra réaliser 200 points de mesure pour une profondeur donnée, le faisceau laser de mesure sera horizontal alors que l'axe du télémètre est vertical, ceci sera réalisé grâce à un miroir à 45° fixé sur le télémètre ;
- afin de ne pas torsader les fils électriques, il faut revenir en position initiale (rotation de 360° dans le sens opposé, à vitesse modérée de $\omega_m = 20$ tr/min avant la série de mesures suivante ;
- une boussole électronique permet de contrôler l'orientation de la sonde et son inclinaison ;
- une fois la première série de mesures effectuée au fond de la cavité, la sonde remonte en vitesse rapide ($V_r = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) d'une hauteur de ($p_h = 50$ cm) et effectue de nouveau une série de mesures, ces opérations étant répétées jusqu'à atteindre le haut de la cavité. La dernière mesure s'effectue entre 0 et 50 cm du bas du tubage.

La sonde remonte ensuite en vitesse lente ($V_\ell = 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) jusqu'en haut du tubage.

En surface, on utilise un calculateur industriel (API) relié à un micro-ordinateur pour générer des consignes et collecter les résultats de mesure.

La descente des appareillages dans la cavité est réalisée par un ensemble moteur-treuil. Le câble s'enroule sur le tambour du treuil.

L'énergie électrique nécessaire au fonctionnement du système est fournie par un groupe électrogène. Une alimentation régulée en tension fournit l'énergie électrique aux différents appareils. Un variateur associé à l'automate programmable (API) permet de commander et alimenter le moteur.

B. Analyse du système

B.1. Analyse globale : contexte et cas d'utilisation

Q1. Compléter le diagramme SysML de cas d'utilisation de la figure 1.5.

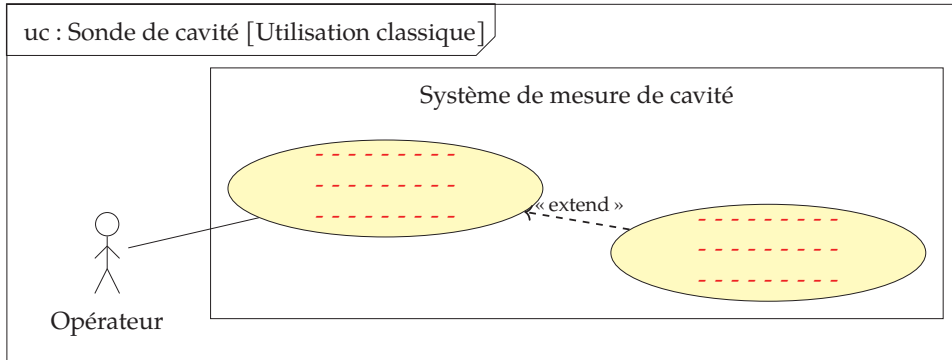


FIGURE 1.5 – Cas d'utilisation à compléter

Q2. Compléter le diagramme SysML de contexte de la figure 1.6 en indiquant le nom des 2 éléments extérieurs non nommés.

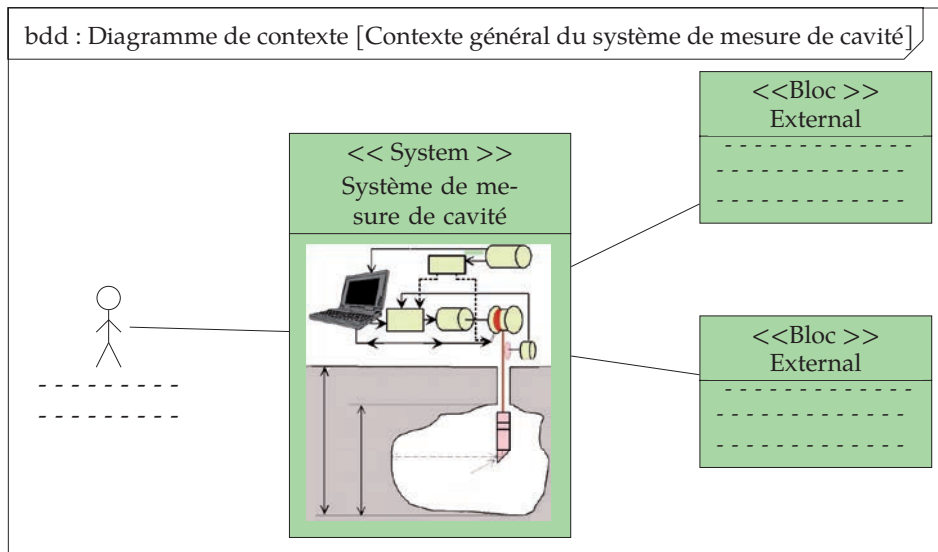


FIGURE 1.6 – Diagramme de contexte à compléter

B.2. Exigences

Le diagramme de la figure 1.7 décrit les exigences générales du système et ne détaille que les exigences techniques.

Q3. Rappeler l'utilité des diagrammes d'exigences.

Le diagramme de la figure 1.8 précise l'exigence relative à la mesure.

Q4. Compléter le diagramme SysML d'exigences partiel de la figure 1.8 en nommant les 2 exigences (1.1.2.3) et (1.1.2.4) ainsi que le bloc satisfaisant l'exigence (1.1.2.1).

B.3. Analyse interne : BDD et IBD

On se propose maintenant de décrire les constituants du système et les relations entre ceux-ci et l'extérieur.

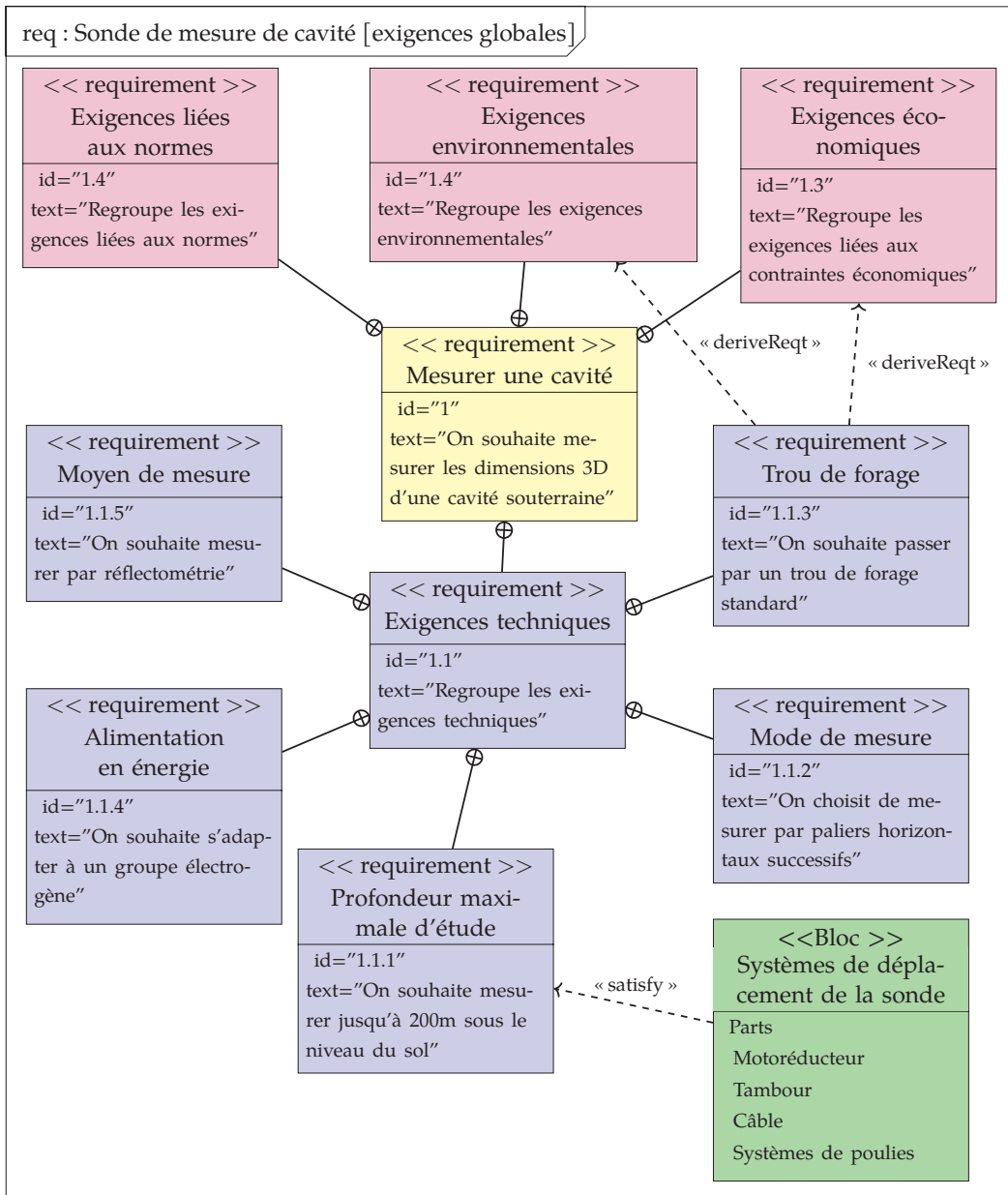


FIGURE 1.7 – Diagramme d'exigences

À partir de la description du fonctionnement et des différentes figures.

Q5. Compléter le diagramme de la figure 1.10 en indiquant les blocs composants le sous-ensemble : systèmes de déplacement de la sonde.

Q6. À partir de la description du fonctionnement et des différents documents, compléter la chaîne d'énergie et d'information de la figure 1.9 en vous limitant au système de déplacement.

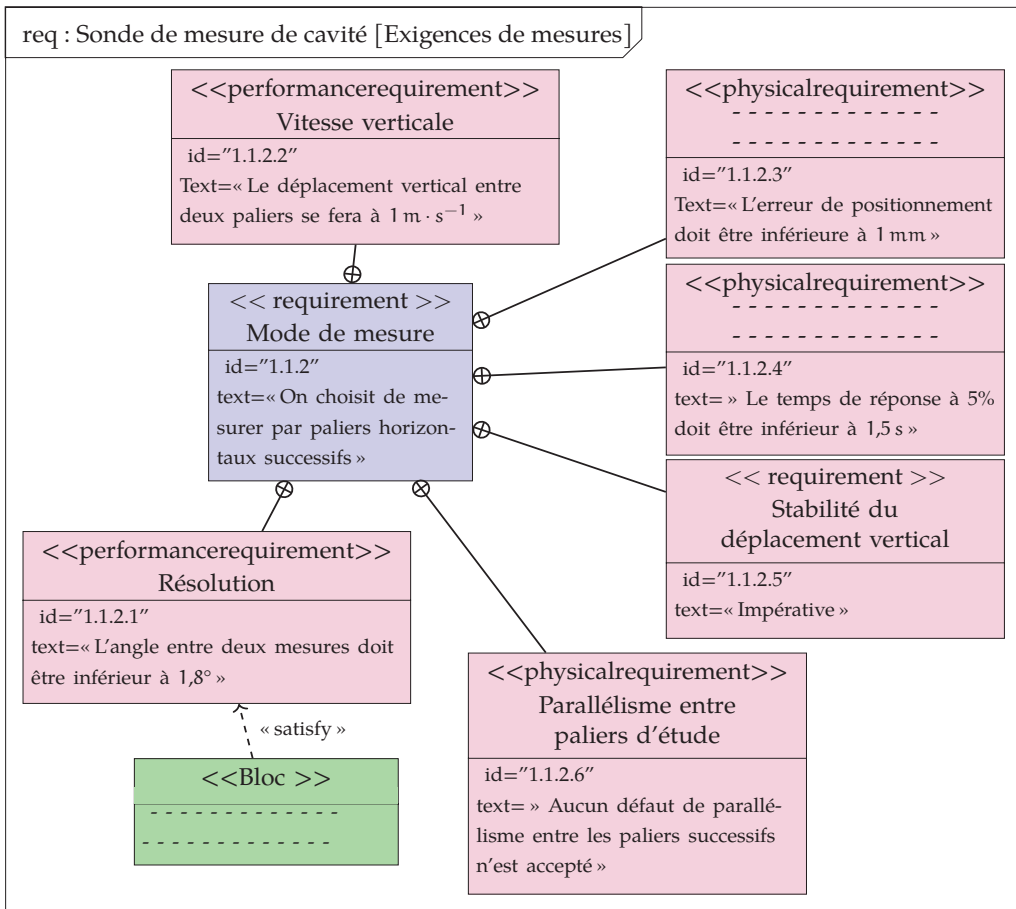


FIGURE 1.8 – Diagramme d'exigences partiel à compléter

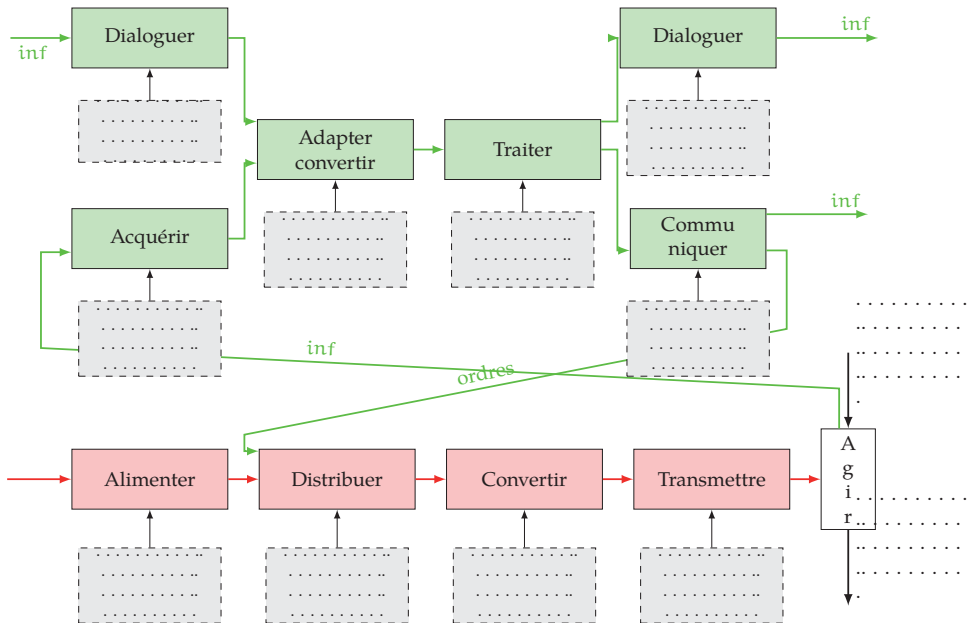


FIGURE 1.9 – Description des chaînes d'information et d'énergie

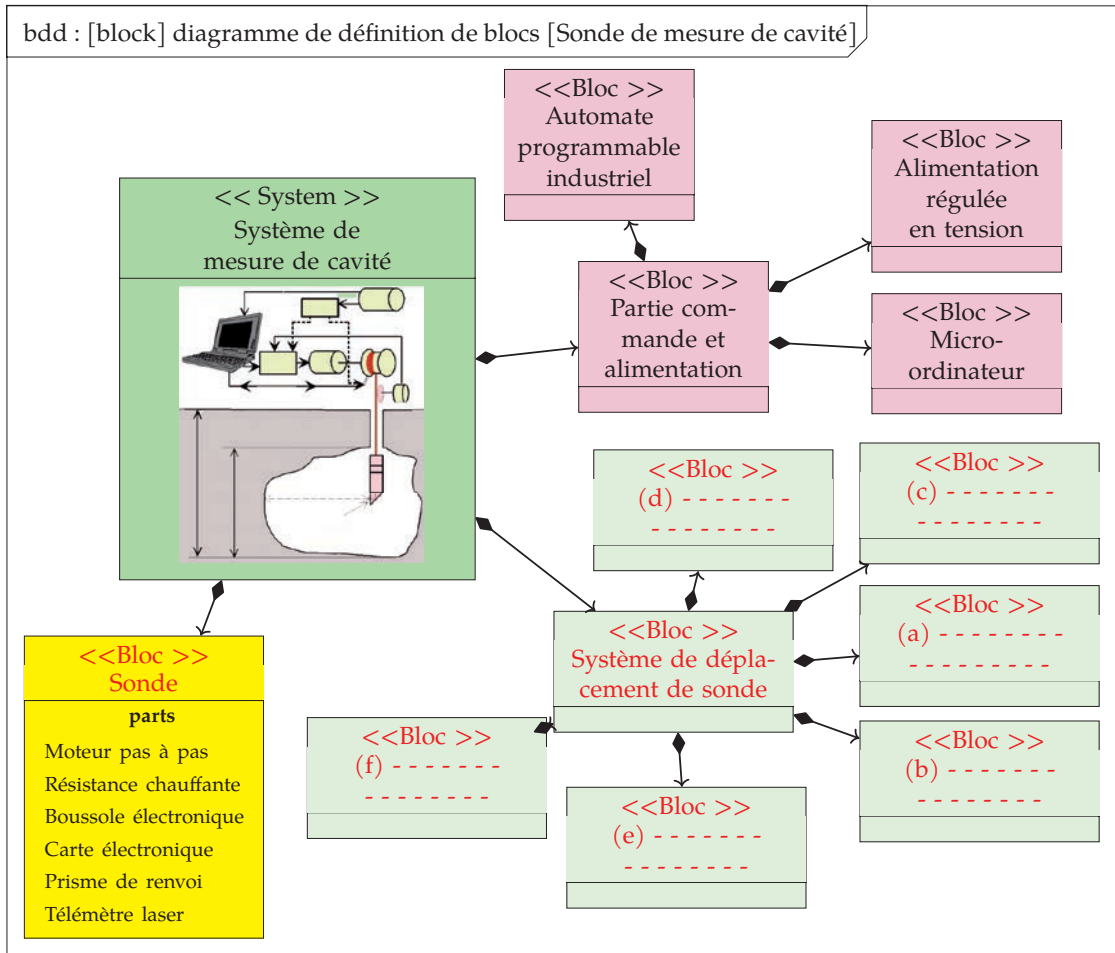


FIGURE 1.10 – Diagramme de définition de blocs à compléter

Exercice 2 - Simulateur de vol - Analyse fonctionnelle

Extrait de Icna 2012 - PSI

Corrigé page 21

Cet exercice se prolonge avec l'exercice Simulateur de vol - Compensateur de pesanteur page 173.

A. Présentation et problématique

A.1. Intérêt et principe de fonctionnement des simulateurs de vol

L'apprentissage du pilotage ou la qualification des pilotes sur un nouveau type d'appareil requiert de nombreuses heures de formation « en situation ».

À cet effet, le simulateur de vol (Figure 1.11a) se substitue avantageusement au vol réel, tant au niveau du coût de la formation que de l'étendue des situations qui peuvent être reproduites en toute sécurité.

Dans un simulateur, le pilote est isolé du monde extérieur et perçoit uniquement les informations que le simulateur lui communique.

Pour donner la sensation au pilote qu'il est dans un avion réel, le simulateur agit sur 3 aspects :

— Donner une vue de l'extérieur qui est le résultat de la simulation de vol. Ce résultat est visualisé sur des écrans LCD (Figure 1.11b) sensés représenter ce que l'on voit au travers des fenêtres du cockpit. Le cerveau du pilote perçoit au travers du système de vision les mouvements de l'avion. Il y

a cependant deux lacunes à cette perception : elle est lente et ne permet pas de sentir physiquement les effets de l'accélération.

— Faire subir au pilote les effets de l'accélération. Cette accélération est perçue par le système vestibulaire humain (cavité de l'oreille interne), un peu dans son intensité, mais surtout dans son orientation. Le simulateur devra donc s'orienter pour donner au pilote la sensation qu'il accélère.

La sonorisation reproduit exactement les bruits perçus dans le cockpit (bruit de moteur, bruit de l'air...).

La cinématique des simulateurs les plus complets est basée sur un hexapode (ou plate-forme de Stewart) doté de 6 axes. Ces simulateurs permettent de reproduire :

- les mouvements angulaires de roulis, tangage et lacet ;
- les déplacements longitudinaux, transversaux et verticaux.

Une solution moins coûteuse consiste à n'installer que 3 axes, de façon à ne reproduire que les mouvements principaux de l'avion : roulis, tangage et déplacement vertical.

C'est le principe du simulateur FLY-HO de la société 6mouv.

A.2. Analyse fonctionnelle

Les caractéristiques générales de ce simulateur, modulaire et facilement démontable, sont données dans les documents techniques DT1 et DT2. Le simulateur, constitué de 3 axes (*) M1, M2 et M3 d'architecture identique, ne nécessite qu'une alimentation électrique et requiert très peu de maintenance grâce à un choix de composants industriels qualifiés pour une durée de vie importante.

* Nota : on appelle « axe » un ensemble de composants liés à une mobilité du cockpit.



(a)



(b)

FIGURE 1.11 – Simulateur de vol

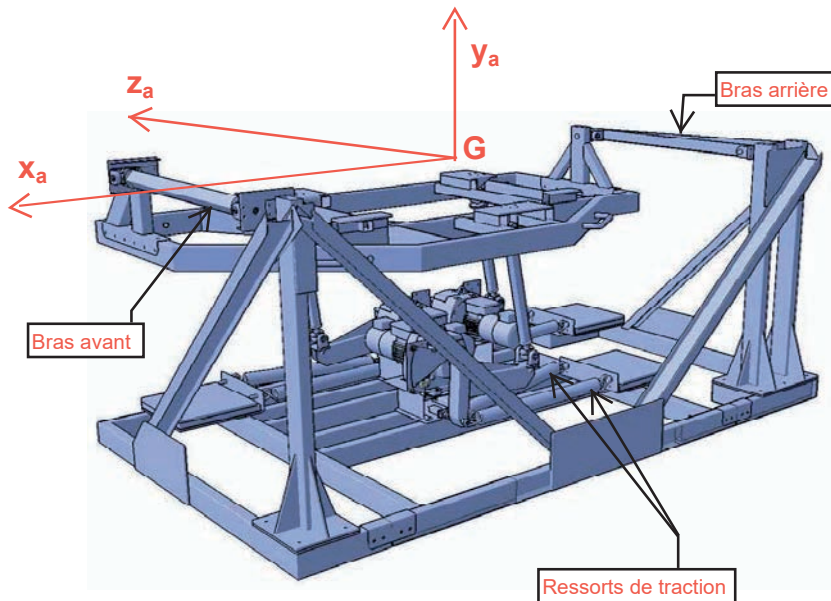


FIGURE 1.12 – Structure du simulateur de vol

Q1. En vous aidant du tableau des exigences 1.1 et des photos de la figure 1.13, compléter les chaînes d'énergie et d'information de l'axe M1.

Q2. Proposer un descriptif de l'exigence req-3 et de l'exigence principale du système.

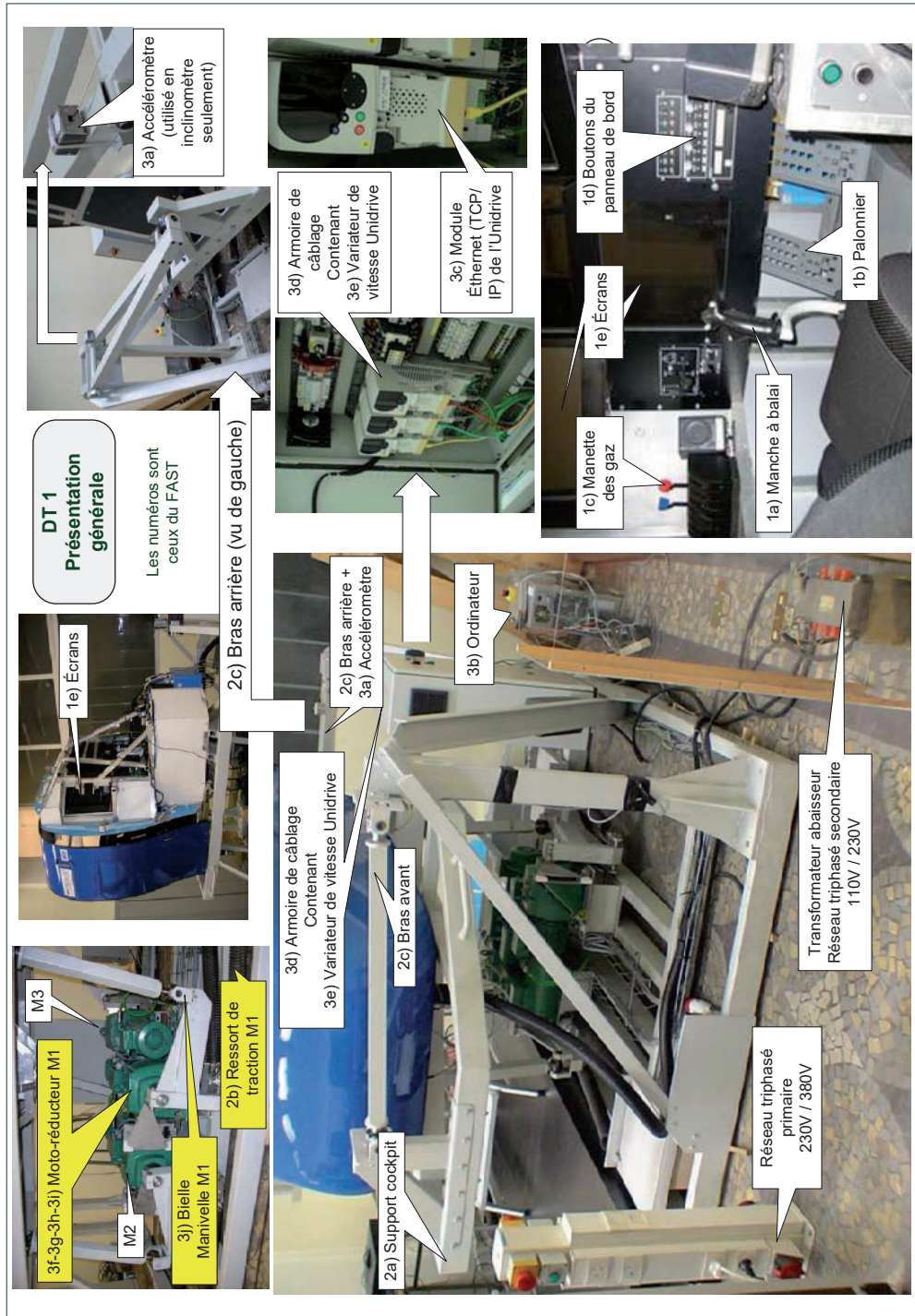
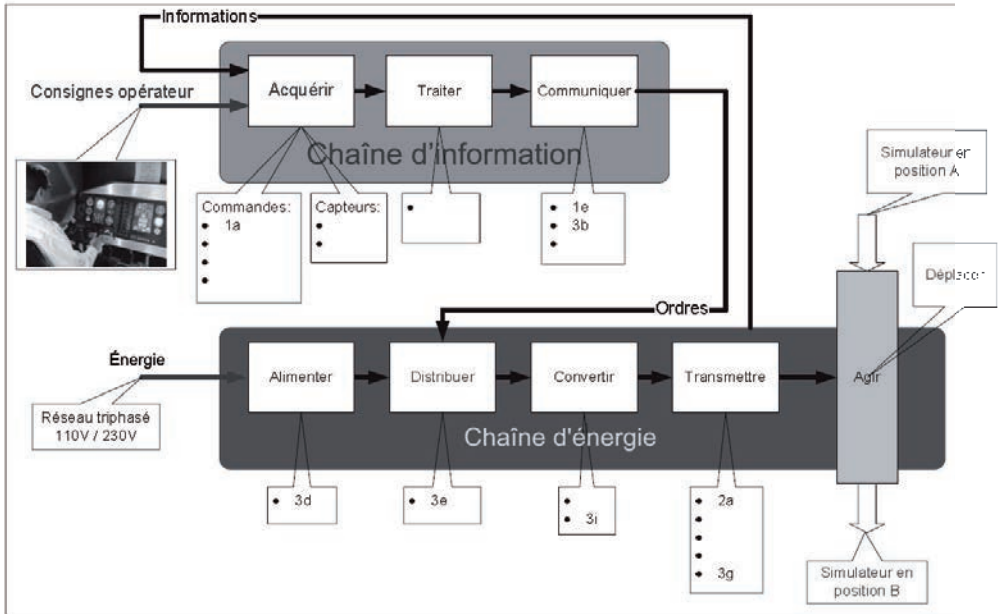


FIGURE 1.13 – Photos du système

Exigence principale	Exigences	Constituants				
req-1 : Permettre à un pilote de s'entraîner	req-11 : Reproduire les commandes de vol	1a) Manche à balai				
		1c) Manette des gaz				
		1b) Palonnier				
		1d) Boutons du panneau de bord				
		1e) Écrans				
		req-2 : Lier la cabine au sol par une structure à 3 degrés de liberté	req-12 : Reproduire l'environnement visuel	2a) Support cockpit		
				2b) Ressorts de traction		
				2c) Bras arrière et avant		
				req-3 :	req-21 : Adapter le cockpit sur le simulateur	3a) Accéléromètre
						req-22 : Reprendre le poids du cockpit
req-24 : Équilibrer le système	3c) Module Ethernet Unidrive					
req-31 : Générer la référence de l'horizontalité	3d) Armoire de câblage					
req-32 : Commander le simulateur	3e) Variateur de vitesse Unidrive					
req-33 : Établir le dialogue entre PC et Unidrive	3f) Moteur					
req-34 : Distribuer l'énergie aux moteurs	3g) Réducteur					
req-35 : Convertir énergie élec. en énergie méca.	3h) Codeur incrémental					
req-36 : Adapter la vitesse	3i) Frein à manque de courant					
req-37 : Renseigner sur la position du rotor	3j) Système Bielle manivelle					
req-38 : Freiner						
req-39 : Transformer mvt rotation en translation						

Tableau 1.1 – Exigences et constituants

B. Document à compléter



A. Mise en situation

A.1. Contexte

La tonte d'une pelouse est une opération fastidieuse et répétitive qui ne nécessite pas une qualification élevée de la part de l'utilisateur.

La tondeuse électrique autonome robot RL 500 est capable d'effectuer la tonte de la pelouse avec un minimum d'intervention de la part de l'utilisateur. Cette intervention se limite à une phase de préparation, effectuée une fois pour toutes, et à une phase de mise en service, effectuée à chaque tonte.



FIGURE 1.14 – Robot RL 500

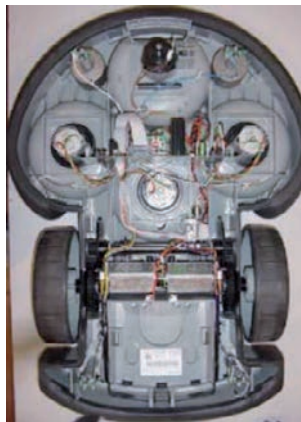
A.2. Présentation du système

Dans la phase de préparation, on délimite la surface à tondre à l'aide d'un conducteur électrique périmétrique posé et fixé au niveau sol afin de créer une frontière magnétique, puis on initialise les paramètres de la tondeuse. Cette initialisation consiste principalement à caler une boussole électronique dans la direction du nord géographique.

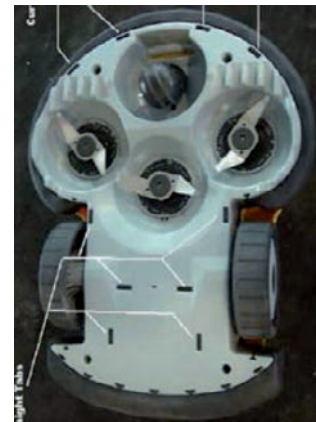
Dans la phase de mise en service, l'utilisateur dispose la tondeuse sur la pelouse, fixe la durée de la tonte et démarre la tondeuse. Lorsque la tonte automatique est terminée, il conduit éventuellement la tondeuse vers les zones restantes afin de les tondre en mode manuel, puis il range la tondeuse et met la batterie en charge.



(a) Vue de dessus avec carter supérieur



(b) Vue de dessus sans carter supérieur



(c) Vue des lames dessous

FIGURE 1.15 – Vues du robot

Limites d'utilisation : cette tondeuse ne convient pas à l'entretien d'une pelouse dont la superficie dépasse 500 m^2 , dont les déclivités dépassent 15° , dont les creux ou les bosses trop accentués risquent de provoquer le patinage des roues motrices.

Les conditions idéales d'utilisation correspondent à une tonte régulière d'une pelouse de forme simple, déjà bien entretenue, et dans une région dont le climat n'est pas trop humide.

A.3. Fonctionnement

Le système de coupe est constitué de trois lames cinématiquement indépendantes, entraînées en rotation autour d'un axe vertical par trois moteurs identiques (figures 1.15c, 1.16 et 1.17).

La roue avant porteuse (dite roue jockey) est libre en rotation autour d'un pivot vertical et suit les changements de direction de la tondeuse. Elle est réglable en hauteur et comporte un capteur de rupture de contact au sol qui stoppe les moteurs en cas de soulèvement intempestif.

Les deux roues motrices sont situées à l'arrière. Elles sont montées sur un berceau réglable en hauteur. Chacune de ces deux roues est entraînée indépendamment de l'autre par un moteur à courant continu à travers un réducteur de vitesse à engrenages.

Le changement de direction est obtenu grâce à une différence de rotation des deux roues arrière. La position angulaire de chaque roue est connue grâce à un capteur. Chacun des deux capteurs est constitué d'un disque lié à l'arbre moteur, comportant deux aimants diamétralement opposés, tournant devant un détecteur magnétique.

Les cinq moteurs sont identiques et l'électronique de puissance nécessaire à la variation est intégrée à la carte de commande. La carte de commande intègre le micro-contrôleur contrôlant la tondeuse.

Des détecteurs de choc permettent au robot de changer de direction si jamais il rencontre un obstacle (arbre, parterre de fleurs,...).

L'alimentation en énergie du système est assurée par une batterie au plomb rechargeable sur le secteur. Des contrepoids situés à l'avant permettent d'éviter le basculement du robot.

Un boîtier de commande détachable (figure 1.15a) est situé sur le carter supérieur, il permet :

- l'initialisation géographique de la boussole électronique. Cette opération est effectuée à la première mise en service,
- l'arrêt d'urgence,
- la tonte en commande manuelle à l'aide d'un pavé directionnel.

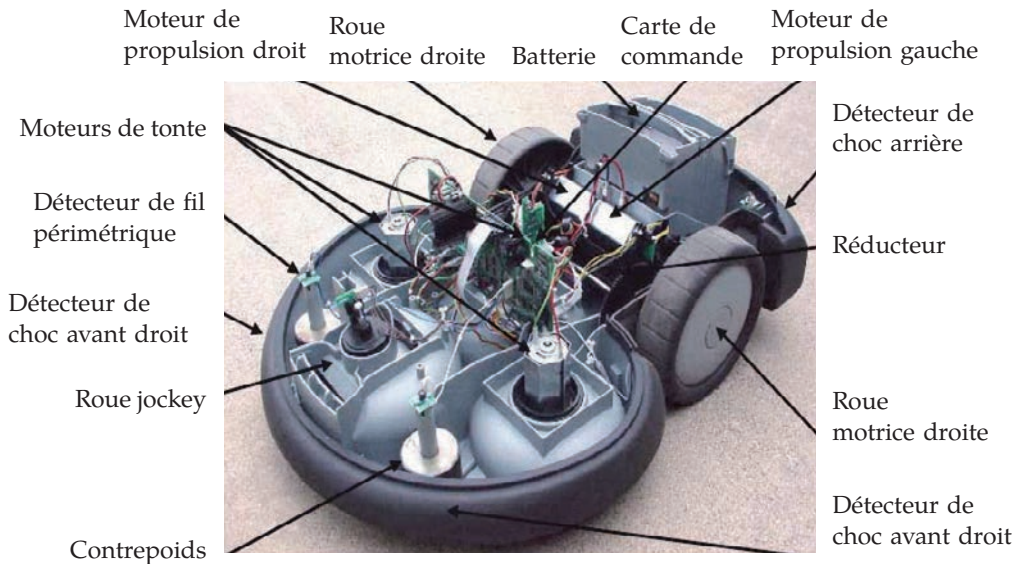


FIGURE 1.16 – Composants du robot

A.4. Fonctionnement

— Délimitation de la zone à tondre

Le périmètre de la pelouse est délimité par un fil conducteur semi enterré, formant une boucle, et relié à un boîtier d'alimentation alimenté par piles. Le boîtier d'alimentation fournit un courant haute fréquence au conducteur périmétrique ce qui permet la détection du signal par un des quatre détecteurs embarqués dans la tondeuse.

Les zones à ne pas tondre (parterres de fleurs, allées, etc.) sont délimitées de la même manière par le conducteur périmétrique.

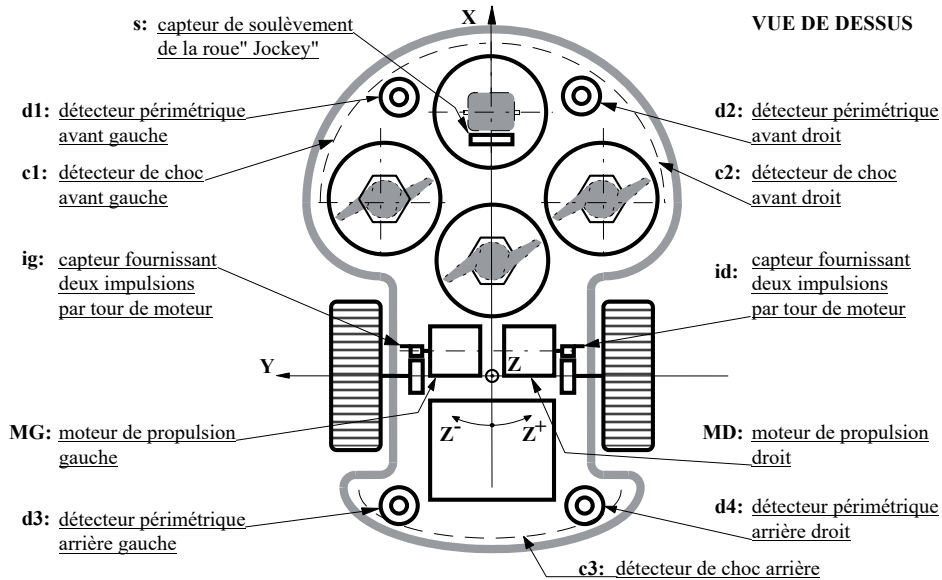


FIGURE 1.17 – Inventaire des informations logiques associées aux capteurs et aux actionneurs.

Les obstacles « rigides » (arbres, bordures, murets,...) sont détectés par un des trois capteurs de contact situés dans les « pare-chocs » avant et arrière de la tondeuse.

— Stratégie de tonte

Tâche d'orientation T1 (figure 1.18) : l'opérateur ayant posé la tondeuse au sol en un point P quelconque de la parcelle, puis appuyé sur le bouton de démarrage, la tondeuse pivote autour d'un axe vertical dans le sens direct (noté Z^+), et s'oriente vers le nord géographique à l'aide de la boussole électronique.

Tâche de recherche et de suivi de fil T2 : la tondeuse avance ensuite vers le nord jusqu'à ce qu'elle rencontre le conducteur périmétrique (point A).

Elle pivote dans le sens direct, et suit le conducteur périmétrique afin de tondre le pourtour de la parcelle. Lorsqu'elle a bouclé un tour et demi (point B), elle pivote vers l'intérieur de la parcelle et commence un cycle de tonte en « zig-zag ».

Tâche de tonte en « zig-zag » T3 : à chaque fois que la tondeuse rencontre le conducteur périmétrique (point C1) ou un obstacle (point C2), elle s'arrête, pivote autour d'un axe vertical d'environ 5 degrés, et repart en sens inverse.

Tâche de pivotement de 60 degrés T4 : si un pivotement de 5 degrés lors de la tâche T3 l'amène à sortir du périmètre, la tondeuse pivote sur elle-même de 60 degrés et repart pour un nouveau cycle de tonte en « zig-zag ».

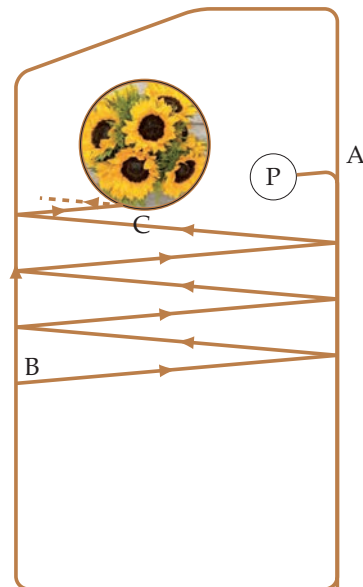


FIGURE 1.18 – Trajectoire suivie au début de la tonte

B. Questions

Q1. Compléter les chaînes d'énergie et d'information de la figure 1.19.

Q2. Préciser l'exigence principale du robot tondeur et au moins trois exigences contenues dans cette exigence principale.

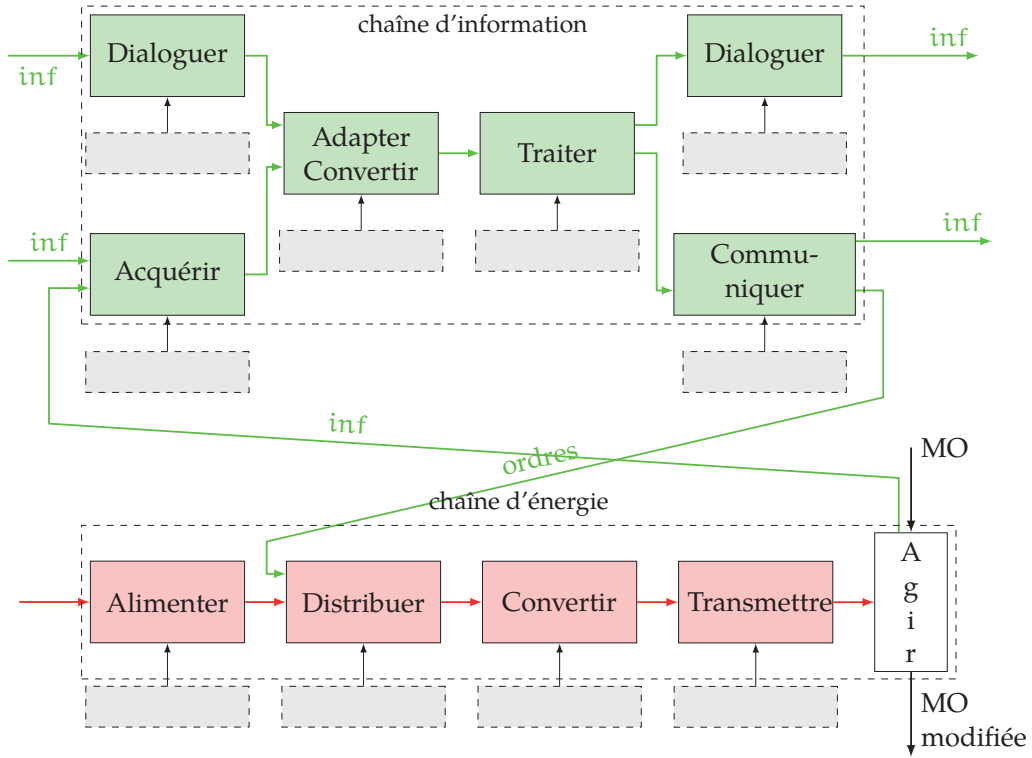
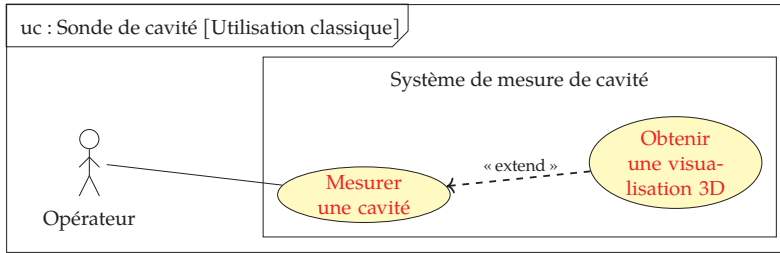


FIGURE 1.19 – Chaîne d'énergie et d'information

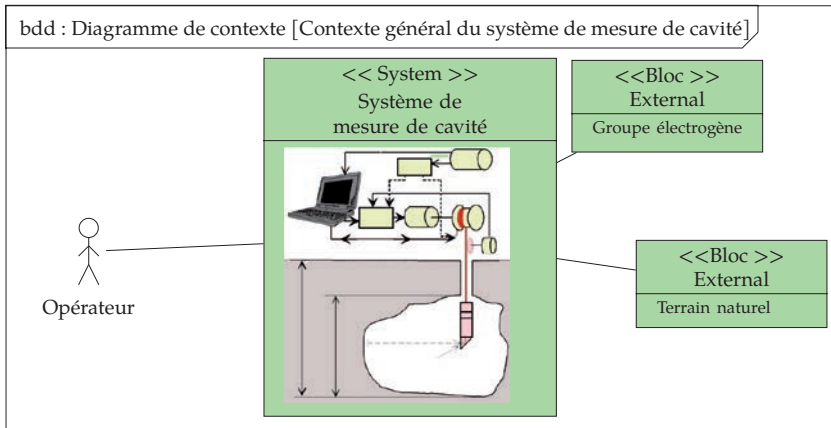
Cor. 1 : Système de mesure de cavité souterraine

Sujet page 5

Q1. Compléter le diagramme SysML de cas d'utilisation de la figure 1.5.



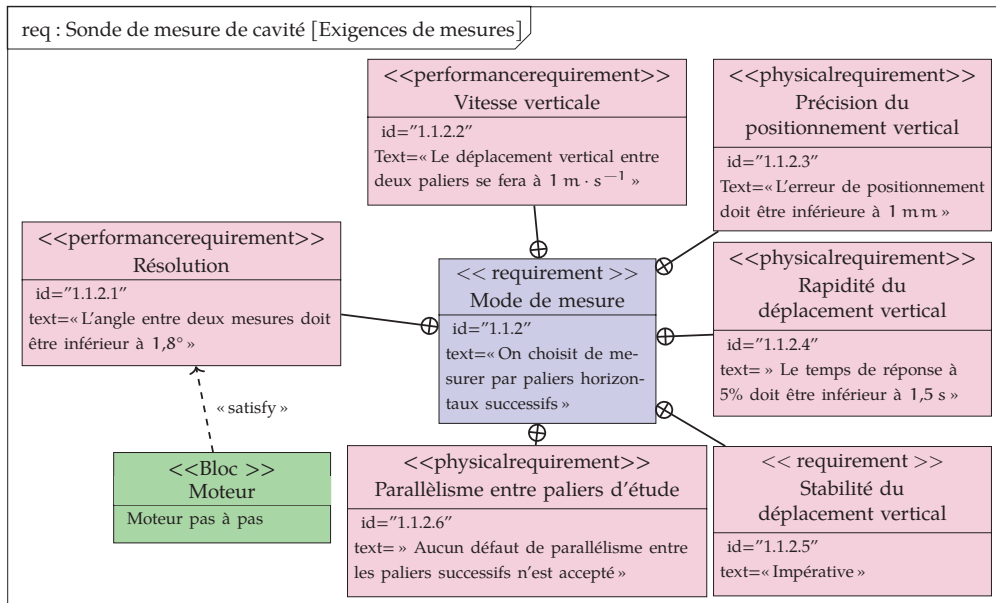
Q2. Compléter le diagramme SysML de contexte de la figure 1.6 en indiquant le nom des 2 éléments extérieurs non nommés.



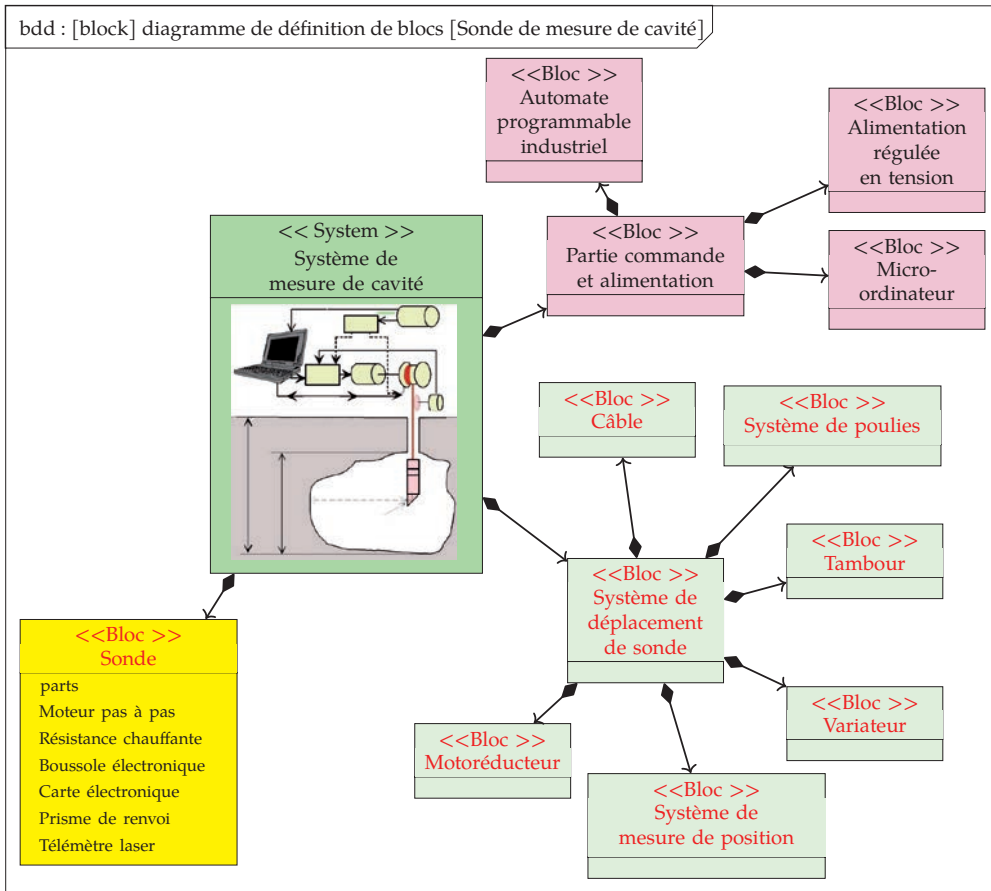
Q3. Rappeler l'utilité des diagrammes d'exigences.

Décrire le cahier des charges en précisant ce dont doit être capable le système.

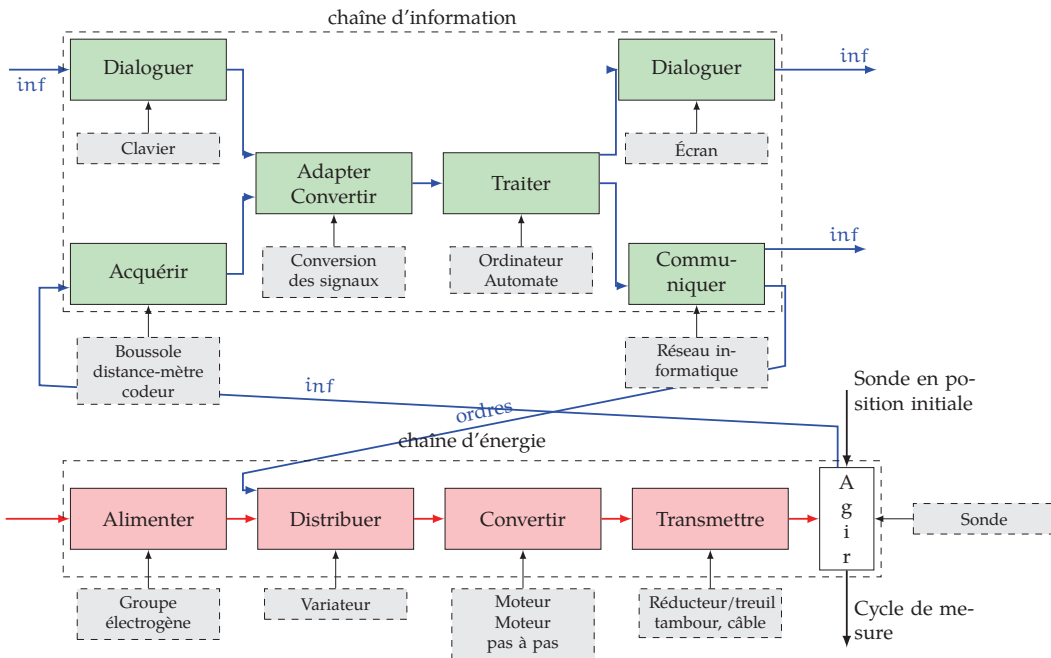
Q4. Compléter le diagramme SysML d'exigences partiel de la figure 1.8 en nommant les 2 exigences (1.1.2.3) et (1.1.2.4) ainsi que le bloc satisfaisant l'exigence (1.1.2.1).



Q5. Compléter le diagramme de la figure 1.10 en indiquant les blocs composant le sous-ensemble : système de déplacement de la sonde.



Q6. À partir de la description du fonctionnement et des différents documents, compléter la chaîne d'énergie et d'information de la figure 1.9 en vous limitant au système de déplacement.



Q1. En vous aidant de la documentation technique (DT1 et DT2), Compléter les chaînes d'énergie et d'information de l'axe M1.

Voir ci-contre.

Q2. Proposer un descriptif de l'exigence req-3 et de l'exigence principale du système.

req-3 : Reproduire les sensations d'un avion en vol.

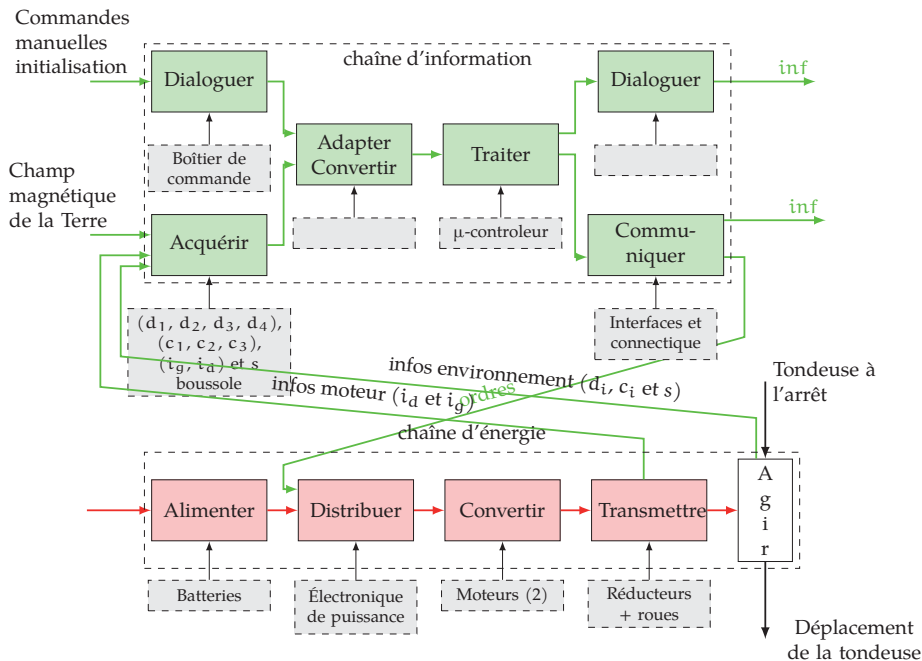
Exigence principale :

Le simulateur de vol doit être capable de simuler le mouvement d'un cockpit, en tangage, roulis et translation verticale.

Fonction	Éléments
Acquérir : Commandes Capteurs	1a,1b,1c,1d 3a,3h
Traiter	3b
Communiquer	1e, 3b,3c
Alimenter	3d
Distribuer	3e
Convertir	3f
Transmettre	2a, 2b,2c,3g,3j

Cor. 3 : Robot tondeur

Q1. Compléter les chaînes d'énergie et d'information de la figure 1.19.



Q2. Préciser l'exigence principale du robot tondeur et au moins trois exigences contenues dans cette exigence principale. La décomposition des exigences ci-dessous n'est certainement pas unique.

idc1 : Être capable de tondre la pelouse en autonomie.

- id 1.1 : Être capable de couper le gazon.
- id 1.2 : Être capable de se déplacer et s'orienter sur le terrain.
- id 1.3 : Être capable de ne pas dépasser les limites du terrain.

Systèmes linéaires et asservis

Exercice 4 - Réponse temporelle d'un signal créneau

Corrigé page 59

Soit un système décrit par l'équation différentielle suivante :

$$2 \cdot \frac{ds(t)}{dt} + 10 \cdot s(t) = 8 \cdot e(t)$$

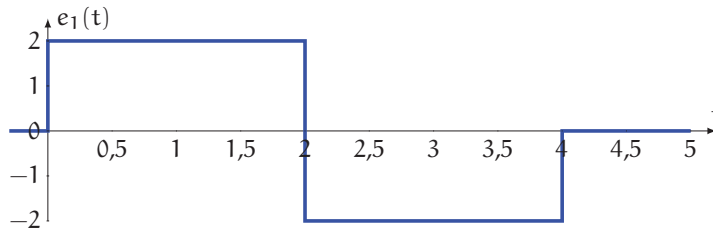
On pose $E(p) = \mathcal{L}(e(t))$ et $S(p) = \mathcal{L}(s(t))$. On se place dans les conditions de Heaviside.

Q1. Déterminer la fonction de transfert $G(p) = \frac{S(p)}{E(p)}$, la mettre sous forme canonique.

Q2. Tracer le schéma-bloc.

Q3. Déterminer, à partir du tableau des transformées inverses, la réponse temporelle pour la réponse à un échelon.

Q4. Déterminer la réponse temporelle $s_1(t)$ à partir des transformées de Laplace pour la sollicitation $e_1(t)$ décrite par le graphe ci-dessous :



Q5. Tracer l'allure de la réponse temporelle de $s_1(t)$.

Exercice 5 - Réponse temporelle d'un second ordre généralisé

Corrigé page 60

Soit un système décrit par l'équation différentielle suivante :

$$9 \cdot \frac{d^2 s(t)}{dt^2} + 21 \cdot \frac{ds(t)}{dt} + 10 \cdot s(t) = \frac{de(t)}{dt} + 8 \cdot e(t)$$

On pose $E(p) = \mathcal{L}(e(t))$ et $S(p) = \mathcal{L}(s(t))$. On se place dans les conditions de Heaviside.

Q1. Déterminer la fonction de transfert $G(p) = \frac{S(p)}{E(p)}$, la mettre sous forme canonique.

Q2. Tracer le schéma-bloc.

On sollicite le système avec une entrée en échelon unitaire $e(t) = \mathcal{H}(t)$ (avec $\mathcal{H}(t)$ la fonction de Heaviside).

Q3. Déterminer $S(p)$ puis $s(t)$.

Q4. Déterminer à partir des théorèmes de la valeur finale et de la valeur initiale : $\lim_{t \rightarrow \infty} (s(t))$, $s(0)$, et la tangente à l'origine.

Q5. Tracer $s(t)$.

Ce petit four de traitement thermique permet d'amener les pièces métalliques de faibles dimensions à la température nécessaire pour réaliser des opérations de trempe, de revenu et de recuit.

La trempe est un refroidissement plus ou moins brutal de la pièce après un chauffage qui a pour objectif de figer la structure obtenue lors du chauffage. Dans certains cas, comme l'acier, ce refroidissement s'accompagne d'une transformation allotropique.

Le revenu est un réchauffement de la pièce qui permet d'adoucir les effets de la trempe.

Le recuit d'une pièce métallique est un procédé correspondant à un cycle de chauffage, maintien en température puis refroidissement permettant de modifier les caractéristiques d'un métal.

Le four est constitué :

- d'une enceinte isolée fermée par une porte coulissante ;
- d'un réseau de résistances chauffantes alimentées et régulées par une carte de puissance (variateur) ;
- d'un thermocouple permettant de mesurer l'évolution de la température dans l'enceinte. La tension de sortie du thermocouple est amplifiée par un amplificateur de mesure permettant d'obtenir une image en tension variant de 0 V à 10 V proportionnelle à la température dans l'enceinte (de 0 °C à 1 000 °C) ;
- un générateur de consigne, permettant de programmer le cycle de traitement (par exemple : monter à 560 °C en une heure, maintenir pendant deux heures, ...), le signal de sortie est une tension variant de 0 V à 10 V ;
- un régulateur, celui-ci compare à tout instant la température dans le four (l'image en tension renvoyée par le thermocouple en fait) avec le signal de consigne. Un correcteur, à partir de l'écart de mesure, génère la loi de commande envoyée dans la carte de puissance.



A. Analyse fonctionnelle

Q1. Décrire l'exigence principale de ce four.

Q2. Tracer la chaîne d'énergie et la chaîne d'information du four.

Q3. Tracer le schéma-bloc fonctionnel du four.

B. Automatique

On note $\Theta_s(p)$ la transformée de Laplace de $\theta_s(t)$, la température du four et $\Theta_c(p)$ la transformée de Laplace de la consigne en température $\theta_c(t)$. La fonction de transfert du four s'écrit

$$T(p) = \frac{\Theta_s(p)}{\Theta_c(p)} = \frac{0.95}{(1 + 750 \cdot p) \cdot (1 + 250 \cdot p)}$$

On applique au four une consigne $\theta_c(t) = 500$ °C. On se place dans les conditions de Heaviside.

Q4. Déterminer la transformée de Laplace de $\theta_c(t)$.

Q5. Déterminer $\Theta_s(p)$.

Q6. Déterminer $\theta_s(t)$, pour cela :

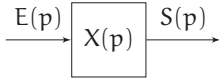
Q6a. décomposer en fraction simple $\Theta_s(p)$,

Q6b. déterminer la transformée inverse de chaque terme,

Q6c. en déduire $\theta_s(t)$.

Q7. Tracer l'allure de $\theta_s(t)$. Déterminer le temps de réponse à 5%.

On se propose d'identifier un système inconnu $X(p)$ à partir d'une étude fréquentielle. À partir du relevé expérimentale, on a tracé les diagrammes de Bode de la figure 2.1.



On hésite entre les deux modèles suivants

$$X(p) = X_1(p) = \frac{K}{(1 + \tau_1 \cdot p)(1 + \tau_2 \cdot p)} \text{ et}$$

$$X(p) = X_2(p) = \frac{K}{1 + 2 \cdot \xi \cdot \frac{p}{\omega_n} + \frac{p^2}{\omega_n^2}} ?$$

Q1. Rappeler l'allure des diagrammes de Bode pour $X_1(p)$ et $X_2(p)$. Préciser les éléments caractéristiques.

Q2. En déduire le modèle pour $X(p)$. Préciser les différents coefficients caractéristiques.

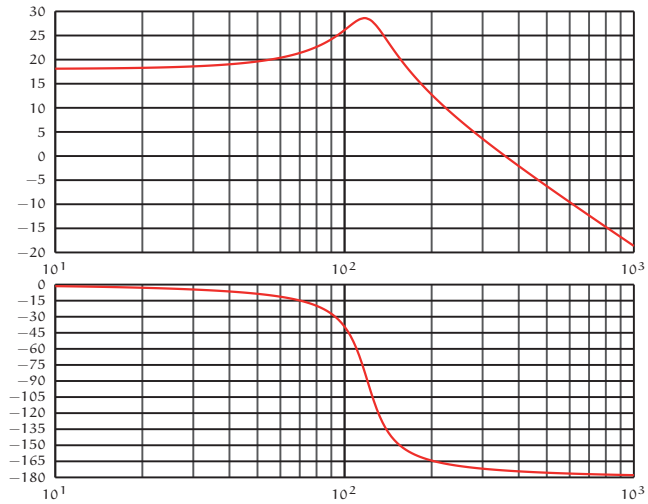


FIGURE 2.1 – Diagrammes de Bode

Exercice 8 - Analyse réponse temporelle

Les courbes figure 2.2, présentent la réponse de 3 systèmes à une entrée $e(t) = 10 \cdot u(t)$ avec $u(t)$ la fonction de Heaviside.

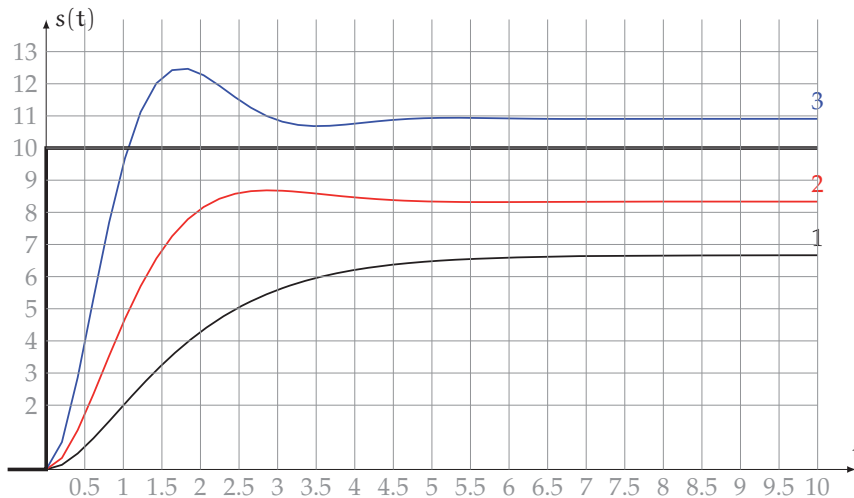


FIGURE 2.2 – Réponses temporelles

Q1. Déterminer : le temps de réponse à 5%, le gain statique, le dépassement relatif s'il existe pour chacune des courbes réponses.

Q2. Proposer une fonction de transfert pour chacune des représentations, déterminer les coefficients caractéristiques de la courbe n°3.

CARNET DE TD

DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Cet ouvrage s'articule autour du programme de sciences industrielles de l'ingénieur (SII) de première année des classes préparatoires aux grandes écoles. Complément indispensable du *Manuel de sciences industrielles de l'ingénieur - PCSI et MPSI*, il permet aux élèves d'approfondir les notions abordées en cours et de conforter leurs acquis.

Ainsi, un grand nombre d'exercices de difficulté variable, tous corrigés de façon détaillée, leur permettra de couvrir les différents points du programme de sciences industrielles.

Les exercices sont classés par chapitre du programme :

- Ingénierie des systèmes (SysML, chaînes d'énergie et d'information, ...).
- Étude des systèmes asservis (transformée de Laplace, schéma-blocs, réponse temporelle et fréquentielle, ...).
- Cinématique du solide (position, vitesse, accélération, torseur cinématique, fermeture géométrique et cinématique, liaisons et mécanismes, engrenages).
- Actions mécaniques et statique des solides (modèle local, modèle global, torseur d'action mécanique, PFS, ...).
- Numération et systèmes à événement discret (logique combinatoire et séquentielle, machine à états, codage, ...).

Enfin, une dernière partie comporte des devoirs transversaux adaptés de sujets de concours.

Un index en fin de manuel permet de retrouver les exercices en fonction des mots clés du cours.

Ce carnet d'exercices est destiné en priorité aux élèves de MPSI et PCSI. Il aborde une partie du cours des PTSI, des TSI et ATS.

Du même auteur chez le même éditeur



www.editions-ellipses.fr

