

TD Découverte des systèmes de l'ingénieur

ROBUROC 6 : PLATE-FORME D'EXPLORATION TOUT TERRAIN

Le robuROC 6 (photographie ci-contre) est un robot mobile développé par la société ROBOSOFT. Cette plate-forme robotisée a été conçue pour des applications de recherche et d'exploration en milieu extérieur. Elle est équipée de 6 roues motrices indépendantes, de même diamètre, montées par paires sur 3 podés articulés en tangage et en roulis (**figure 3**). La cinématique permet à la plate-forme de se conformer au relief parcouru et de franchir des obstacles du type trottoirs, escaliers...



Le robuROC 6 a été conçu pour se déplacer en zones urbaines et peut aussi s'adapter à tous types de milieux. Afin d'explorer la zone géographique à risques, les 3 podés peuvent être équipés, selon les besoins de l'utilisateur, de caméras d'observation haute définition à 360°, de systèmes infrarouges de visualisation nocturne, ainsi que de bras de robot articulés pour manipuler des éléments de la zone à explorer. Nous nous intéresserons ici au cas d'utilisation pendant lequel le véhicule est en exploration, la fonction principale du système peut être alors représenté dans le diagramme de cas d'utilisation suivant :

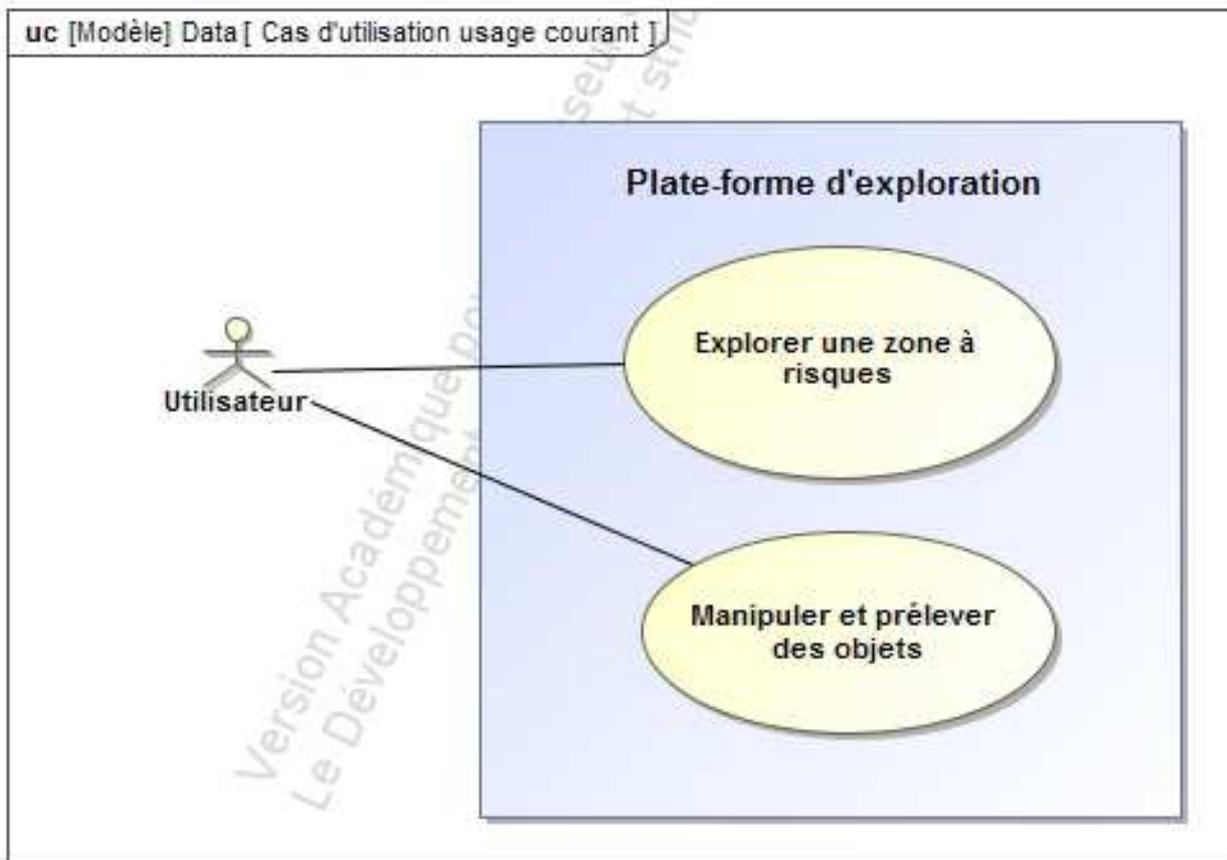


Figure 1a : Diagramme de cas d'utilisation

Un diagramme de définition des blocs simple permet de visualiser les flux entrants et sortants (dans ce cas, il s'agit de flux d'information ou d'énergie) :

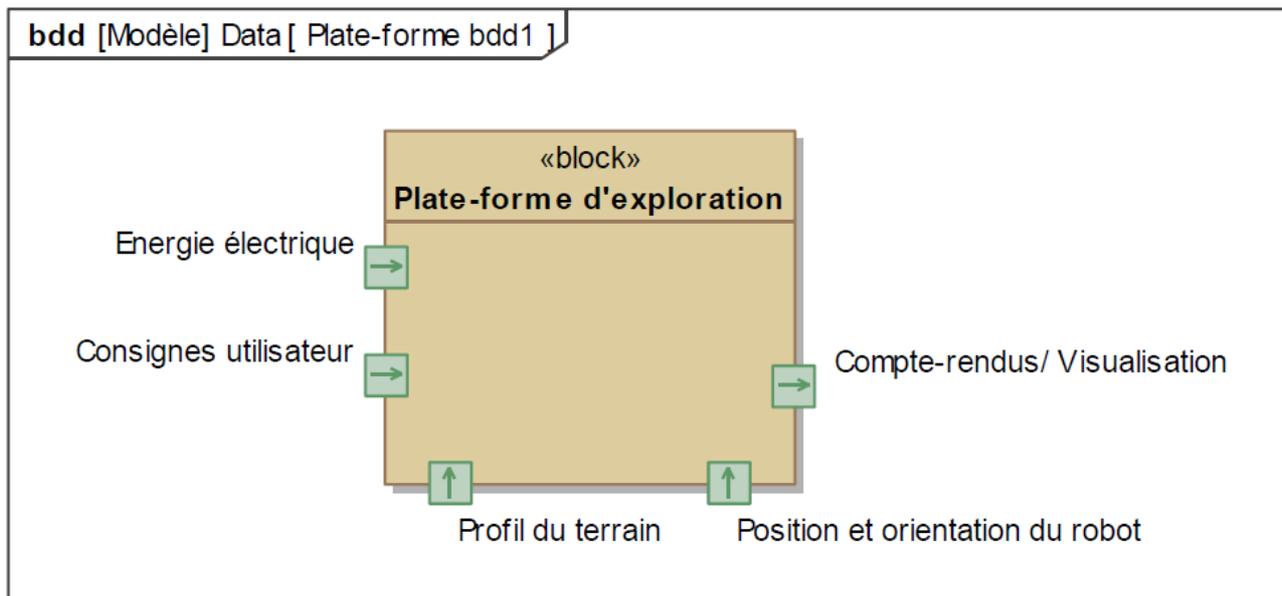


Figure 1b : Diagramme de définition des blocs

Les déplacements de la plate-forme sont coordonnés par l'intermédiaire de deux microcontrôleurs placés dans les podes avant et arrière. Ces microcontrôleurs communiquent entre eux et dialoguent avec l'extérieur suivant deux modes de conduite :

- Le mode **joystick** : l'utilisateur pilote manuellement la plate-forme par l'intermédiaire d'une télécommande;
- Le mode **automatique** : la plate-forme traite les informations du logiciel de supervision notamment le suivi d'un profil théorique.

Pour se repérer dans l'espace, la plate-forme est équipée de capteurs relatifs positionnés sur chacune des six roues, d'inclinomètres et d'un système de positionnement absolu par GPS. Des capteurs à ultrasons et des « bumpers » (détecteurs de collision) participent à la sécurité matérielle et à la détection des obstacles.

La motorisation principale est assurée par six moteurs électriques équipés de réducteurs épicycloïdaux permettant de transmettre l'énergie mécanique aux six roues. Le franchissement des obstacles est facilité par un système hydraulique permettant le soulèvement des podes avant et arrière. Ce système est constitué de quatre vérins disposés de part et d'autre du pode central (**figure 3**) et d'une centrale hydraulique alimentée par une pompe à engrenage (**annexe 2**). La plate-forme peut se déplacer, sous conditions, en mode 6 roues ou 4 roues pour certaines applications particulières (**figure 2**). L'énergie électrique nécessaire au fonctionnement est stockée dans des batteries occupant la plus grande partie du volume interne des trois podes. Une unité de gestion électrique optimise la consommation d'énergie.

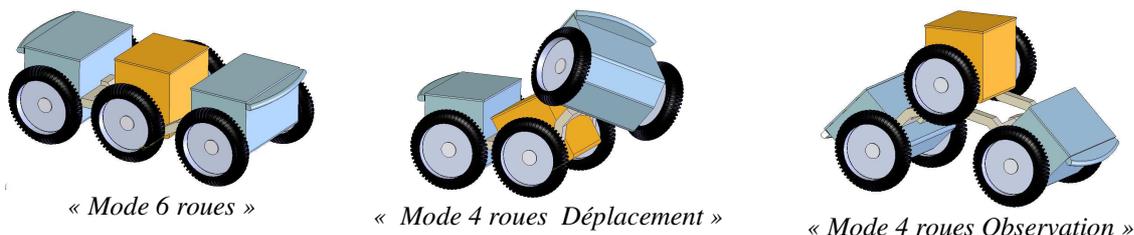


Figure 2 : Modes de déplacement de la plate-forme

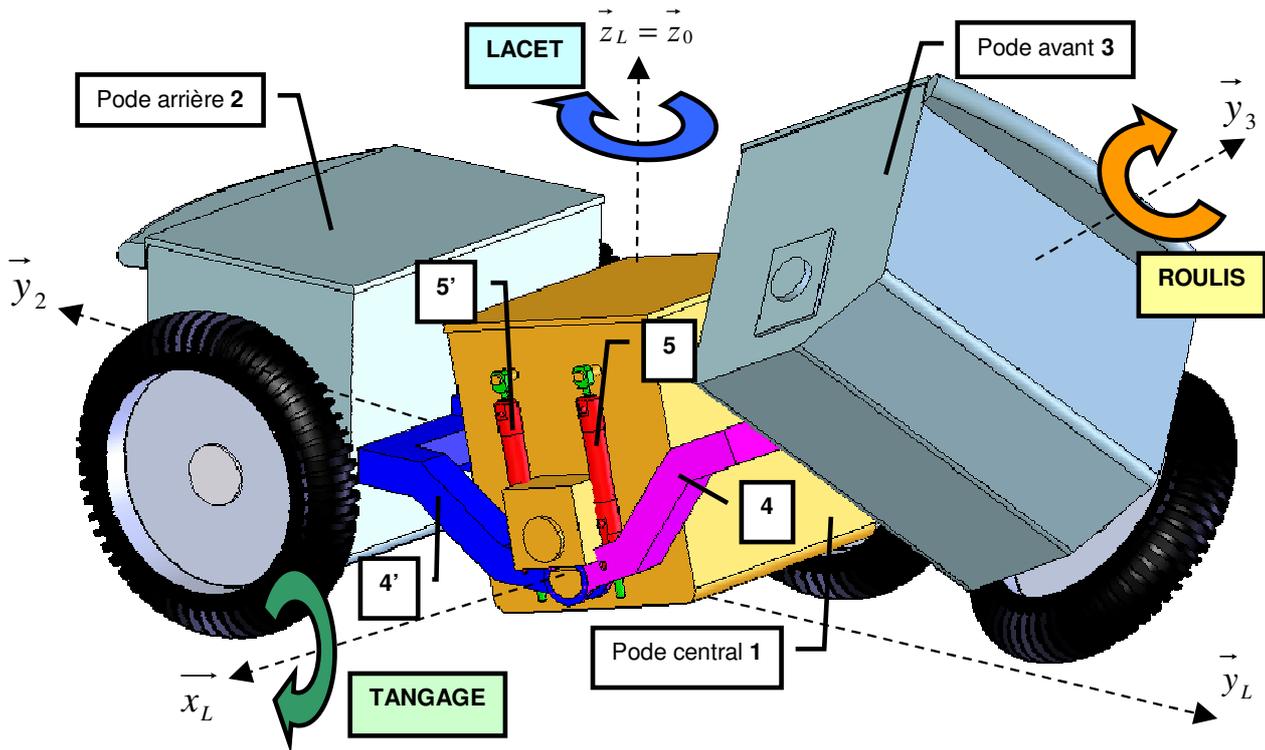
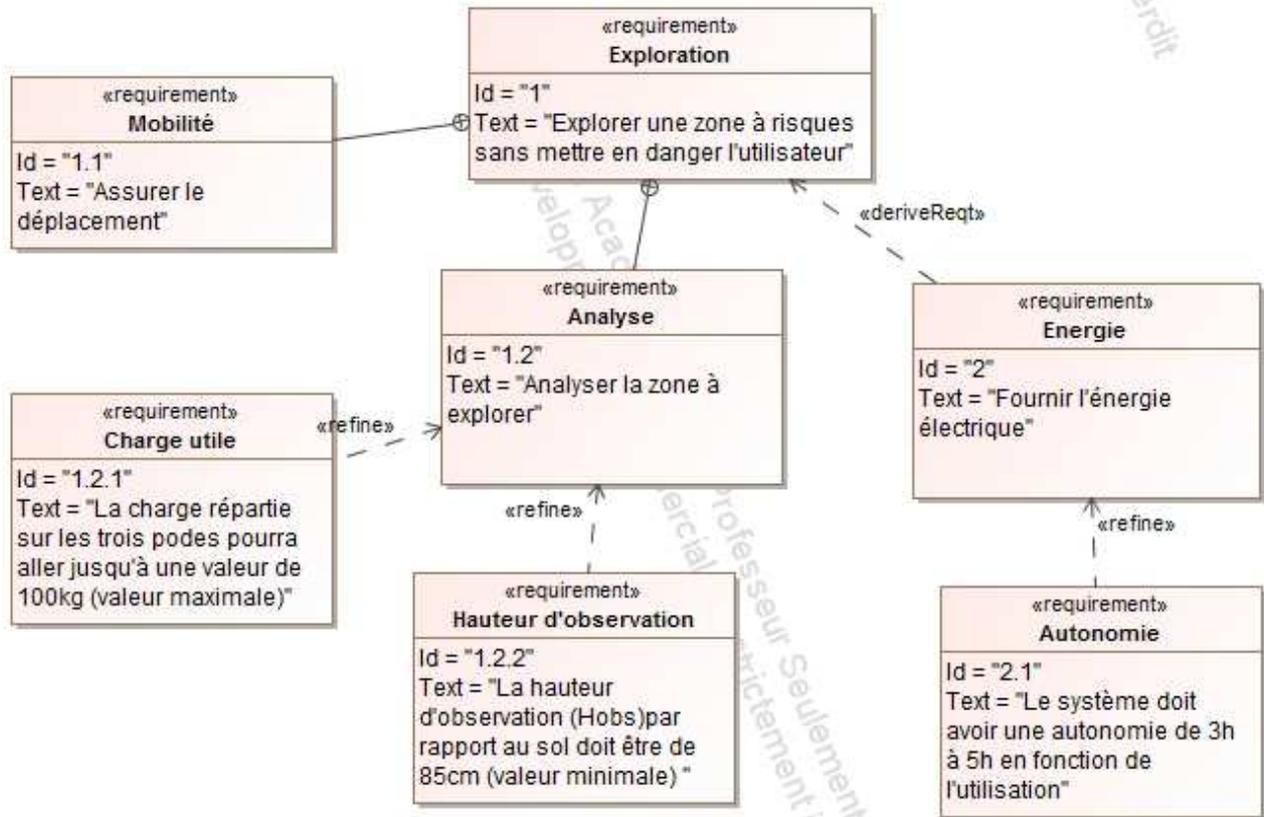


Figure 3 (roue centrale et roue avant droite supprimées pour plus de visibilité)

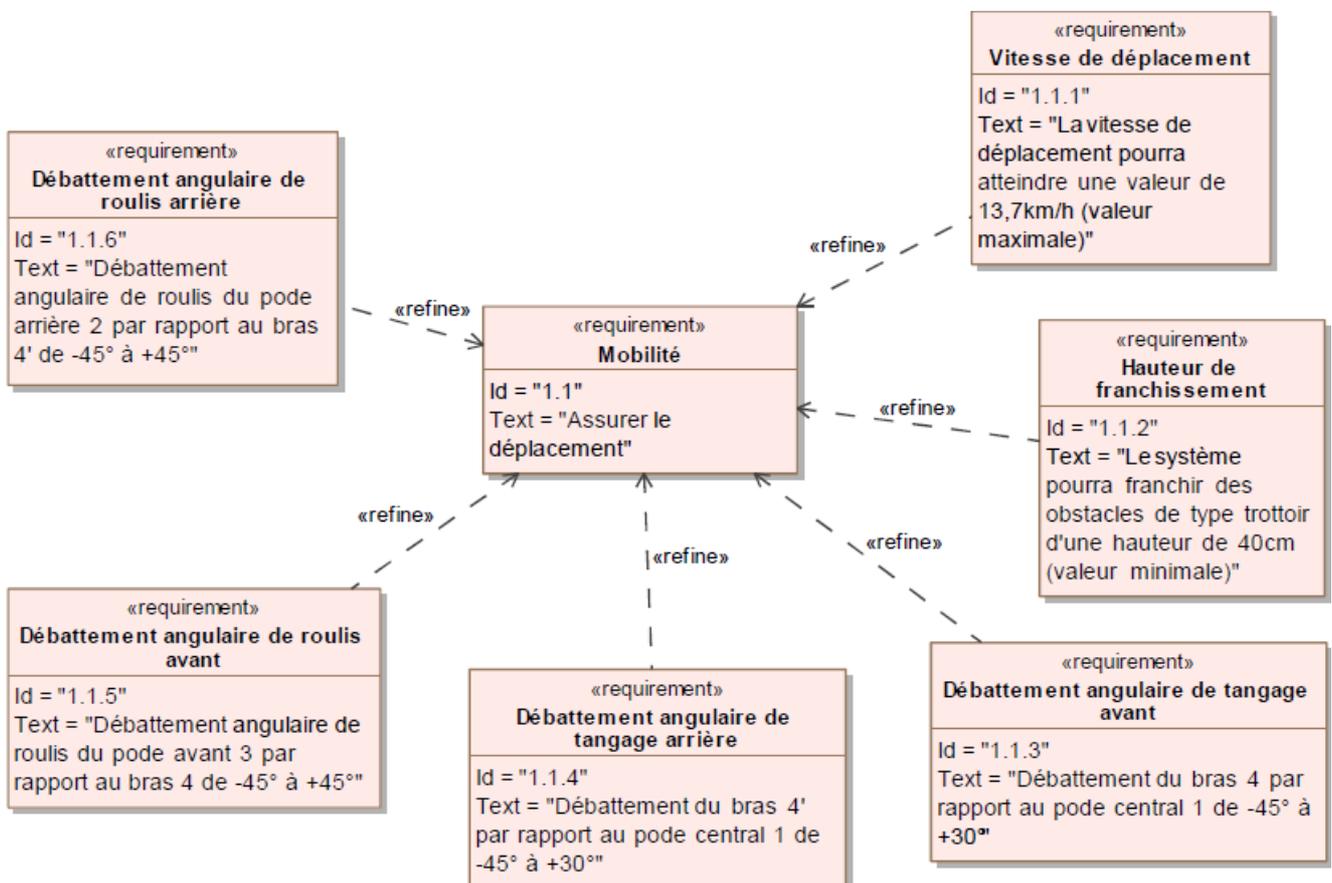
Les trois podes sont articulés en tangage et en roulis (**figure 3**). Le mouvement de **tangage** est guidé par deux liaisons pivot (d'axe de direction \vec{x}_L), respectivement entre le bras d'articulation avant **4** et le pode central **1** et entre le bras d'articulation arrière **4'** et le pode central **1**. Le système hydraulique de suspension permet l'amortissement (mode passif) et la motorisation de ce mouvement (mode actif). Les vérins **5** (côté droit) et **6** (côté gauche) sont en liaison avec le bras d'articulation avant **4** et le pode central **1**. Les vérins **5'** (côté droit) et **6'** (côté gauche) sont en liaison avec le bras d'articulation arrière **4'** et le pode central **1**. Le mouvement de **roulis** est assuré par deux liaisons pivot entre le pode avant **3** et le bras d'articulation avant **4** (liaison d'axe de direction \vec{y}_3) d'une part, et entre le pode arrière **2** et le bras d'articulation arrière **4'** (liaison d'axe de direction \vec{y}_2) d'autre part. Ce mouvement n'est pas motorisé.

Extrait du cahier des charges fonctionnel:

Un extrait du cahier des charges peut être décrit avec les diagrammes d'exigences suivants :



L'exigence sur la mobilité est précisée avec le diagramme d'exigences suivant :



Les critères d'exigences (raffinements) peuvent être synthétisés dans la table d'exigences suivante :

#	ID	Name	Text
1	1.1.1	Vitesse de déplacement	La vitesse de déplacement pourra atteindre une valeur de 13,7km/h(valeurmaximale)
2	1.1.2	Hauteur de franchissement	Le système pourra franchir des obstacles de type trottoir d'une hauteur de 40cm (valeur minimale)
3	1.1.3	Débattement angulaire de tangage avant	Débattement du bras 4 par rapport au poded central 1 de -45° à +30°
4	1.1.4	Débattement angulaire de tangage arrière	Débattement du bras 4' par rapport au poded central 1 de -45° à +30°
5	1.1.5	Débattement angulaire de roulis avant	Débattement angulaire de roulis du poded avant 3 par rapport au bras 4 de -45° à +45°
6	1.1.6	Débattement angulaire de roulis arrière	Débattement angulaire de roulis du poded arrière 2 par rapport au bras 4' de -45° à +45°
7	1.2.1	Charge utile	La charge répartie sur les trois podes pourra aller jusqu'à une valeur de 100kg (valeur maximale)
8	1.2.2	Hauteur d'observation	La hauteur d'observation (Hobs)par rapport au sol doit être de 85cm (valeur minimale)
9	2.1	Autonomie	Le système doit avoir une autonomie de 3h à 5h en fonction del'utilisation

I. ANALYSE DES EXIGENCES

Les exigences composantes « Mobilité » et « Analyse » sont précédemment précisées avec des valeurs numériques. On peut désormais les décomposer en exigences composantes puis exigences dérivées qui seront ici des exigences techniques.

Q1: *Précisez les solutions techniques manquantes dans les diagrammes d'exigences données en annexe 1.*

D'autres exigences pourraient être détaillées quant à la sécurité ou à la fourniture d'énergie. Précisez les composants qui répondent à l'exigence de détection d'obstacles (exigence dérivée de l'exigence de sécurité) et au stockage d'énergie électrique (dérivée de l'exigence de l'exigence de fourniture d'énergie.

II. EXIGENCE TECHNIQUE: ASSURER LE MOUVEMENT EN TANGAGE

Hypothèses :

- Dans toute la **partie II**, le mouvement de roulis est fixé à une valeur nulle. Ainsi le bras d'articulation avant **4** et le pôle avant **3** sont solidaires et de la même manière, le bras d'articulation arrière **4'** et le pôle arrière **2** sont aussi solidaires. D'autre part, le mouvement de lacet n'est pas considéré.
- Les éléments hydrauliques placés du côté gauche (vérins **6** et **6'**) agissent exactement de la même manière que les éléments placés du côté droit (vérins **5** et **5'**). L'étude suivante du circuit hydraulique sera donc réalisée uniquement du côté droit.

II.1. Fonctionnement du circuit hydraulique

Les fonctions à remplir par le circuit hydraulique (**annexe 2**) sont principalement de :

- synchroniser les mouvements de tangage des pôles avant et arrière afin de se conformer au relief ;
- amortir les mouvements de tangage ;
- piloter les mouvements de tangage.

a. Synchroniser et amortir les mouvements de tangage des trois pôles

Dans un premier temps, la centrale hydraulique n'est pas activée (**annexe 2**). Il s'agit donc d'étudier le comportement de la plate-forme en mode passif (suivi du relief et amortissement des mouvements sans pilotage).

Les vérins utilisés, tous identiques, sont des vérins à double effet et tige traversante. Chaque vérin possède deux chambres à volume variable remplies d'huile. Deux répartiteurs hydrauliques (un répartiteur placé du côté gauche et l'autre du côté droit) assurent la circulation de l'huile entre les vérins avant et arrière en croisant l'alimentation des chambres des vérins avant et arrière.

Un schéma cinématique du montage des vérins est fourni en **annexe 3** et est complété par la représentation des principales fonctionnalités du répartiteur hydraulique droit.

Q2: *Sur le document-réponse (**questions 2 et 3**), indiquer en hachurant, les chambres des vérins qui sont en communication ainsi que le flexible permettant de les relier. Vous adopterez un type de hachures par volume d'huile en communication.*

A partir d'une position plane de la plate-forme (position du document-réponse **questions 2 et 3**), considérons que le pôle avant **3** commence un mouvement de CABRAGE (montée du pôle avant **3** et du bras d'articulation **4** par rapport au pôle central **1**) suite à un obstacle. On note β l'angle de tangage entre le bras d'articulation **4** et le pôle central **1** engendré par ce mouvement.

Q3: *Sur le document-réponse (**questions 2 et 3**), indiquer par des flèches le sens de circulation de l'huile dans les flexibles au cours de ce mouvement de CABRAGE. Indiquer quel est le mouvement engendré entre l'ensemble {pôle arrière **2** + bras d'articulation **4'**} et le pôle central **1**, ainsi que son amplitude suite au mouvement de CABRAGE du pôle avant d'un angle β .*

b. Piloter les mouvements de tangage.

Le système hydraulique est conçu de telle sorte que les angles de tangage entre le podé central **1** d'une part et les podés avant / arrière d'autre part soient opposés à chaque instant. Ainsi, l'utilisateur n'a besoin de définir qu'un seul angle de tangage β défini entre le podé central **1** et le podé avant **3** par $\beta = (\vec{y}_1, \vec{y}_3) = (\vec{z}_1, \vec{z}_3)$ (**annexe 5**). L'angle β varie entre -45° et $+30^\circ$. Les valeurs négatives correspondent à un mouvement de PLONGEE du podé avant, les valeurs positives à un mouvement de CABRAGE.

Afin de piloter l'angle de tangage β conformément aux consignes des microcontrôleurs, la centrale hydraulique est activée. Un schéma de principe de cette centrale est fourni sur le document-réponse (**question 4**). La circulation d'huile est générée par une pompe à engrenage entraînée par un moteur électrique. Les consignes électriques de CABRAGE ou de PLONGEE agissent sur un distributeur 4/3 (4 orifices et 3 positions) afin de réaliser le mouvement attendu au niveau des vérins (description du fonctionnement et de la normalisation d'un distributeur 4/3 disponible en **annexe 4**).

Q4: Sur le document-réponse (**question 4**), relier les orifices de sortie du distributeur 4/3 aux flexibles d'alimentation des vérins afin de respecter les ordres de PLONGEE et de CABRAGE.

II.2. Validation des performances du circuit hydraulique

La position de PLONGEE maximale, permet au podé central **1** d'atteindre son point culminant par rapport au sol. Seuls les podés avant **3** / arrière **2** sont alors en contact avec le sol horizontal. Cette position, appelée « *Mode 4 roues Observation* » (**figure 2**), permet à l'utilisateur d'observer le milieu environnant à l'aide d'une caméra placée sur le plan supérieur du podé central. La position de CABRAGE maximale, permet quant à elle de soulever le podé avant le plus haut possible afin de franchir un obstacle (« *Mode 4 roues Déplacement* » (**figure 2**)). Dans cette position, seuls le podé arrière **2** et le podé central **1** sont en contact avec le sol.

Etude du CABRAGE

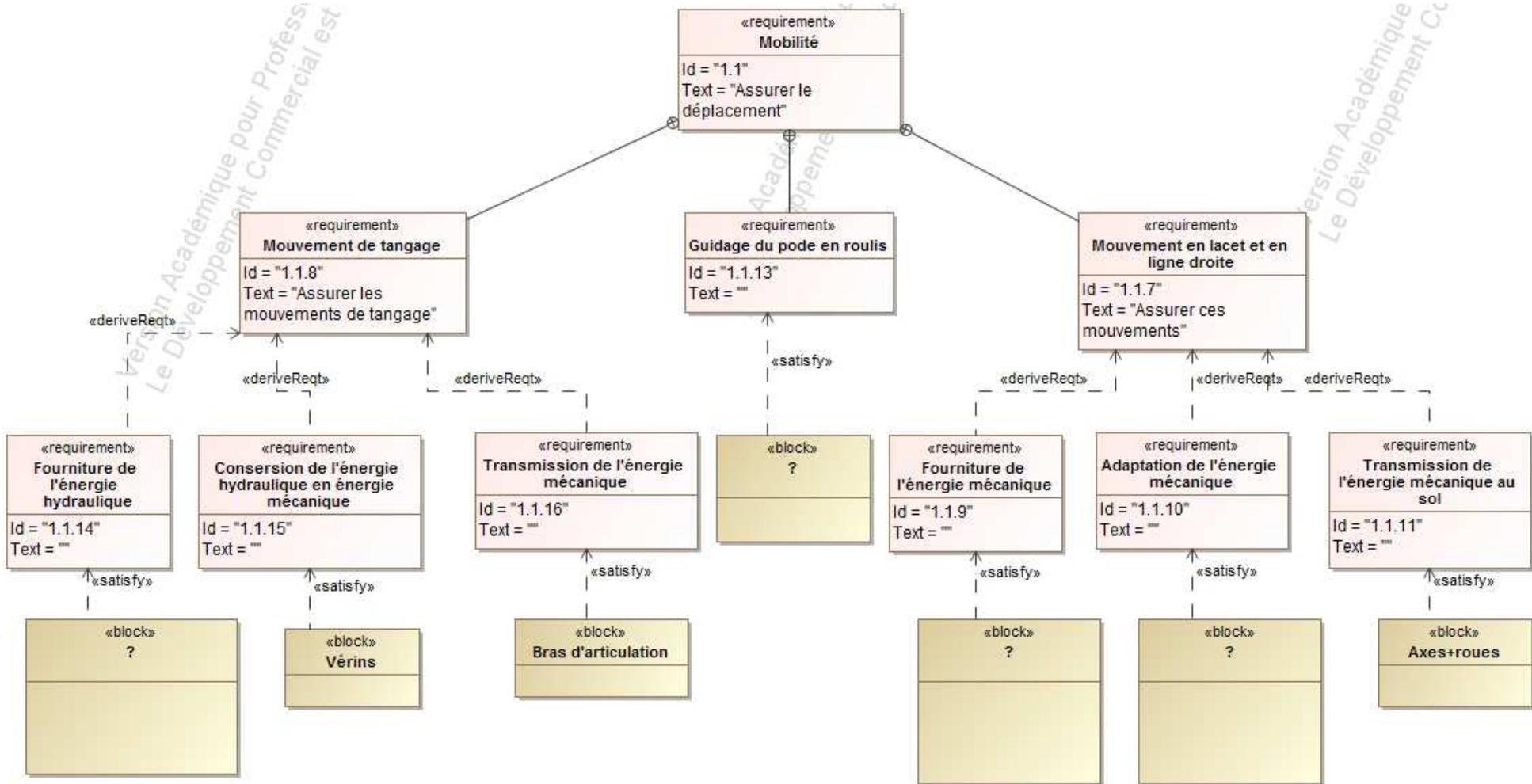
Sur le document-réponse (**question 5**), le podé central **1** est représenté en « *Mode 4 roues Déplacement* ». Les podés **2** et **3** ont été représentés en pointillés dans leur position initiale pour un angle de tangage nul. Les points C_{3i} et C_{2i} définissent respectivement les positions initiales du centre de la roue avant et du centre de la roue arrière.

Q5: Représenter, sur le document-réponse (**question 5**), pour la position de CABRAGE maximal ($\beta_{\max} = 30^\circ$) :

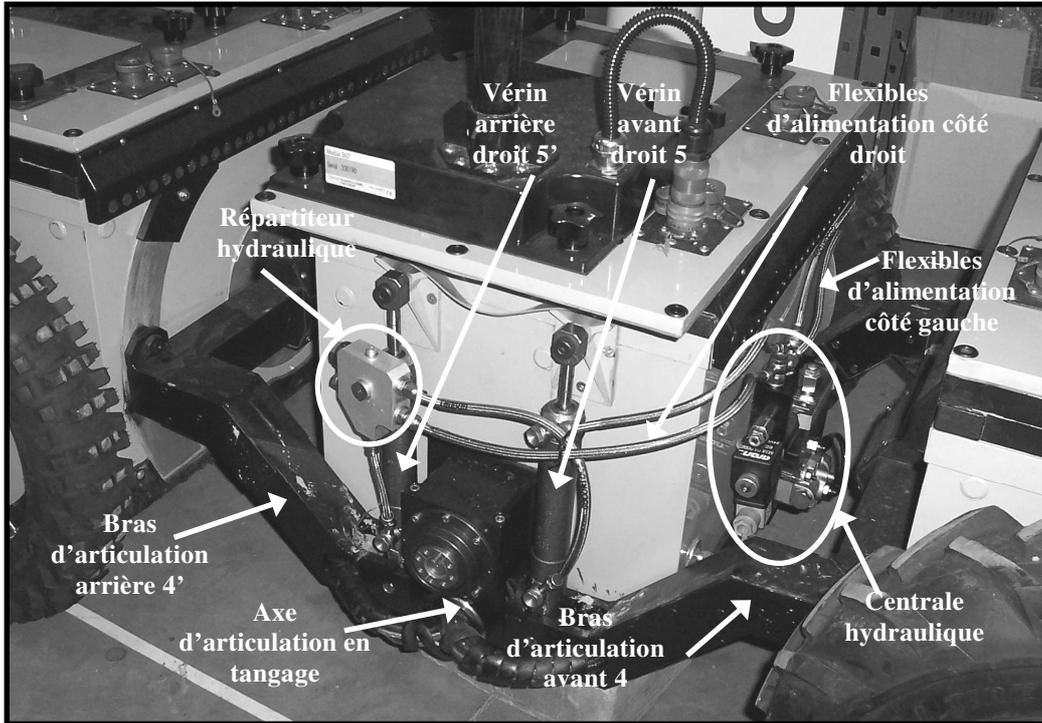
- les positions du centre de la roue avant, appelé C_{3C} et du centre de la roue arrière, appelé C_{2C} ;
- les cercles représentant les roues avant et arrière ainsi qu'une droite représentant le sol ;
- la hauteur de franchissement maximal D_{\max} mesurée perpendiculairement au sol jusqu'au bas de la roue avant.

Mesurer D_{\max} et comparer cette valeur au cahier des charges.

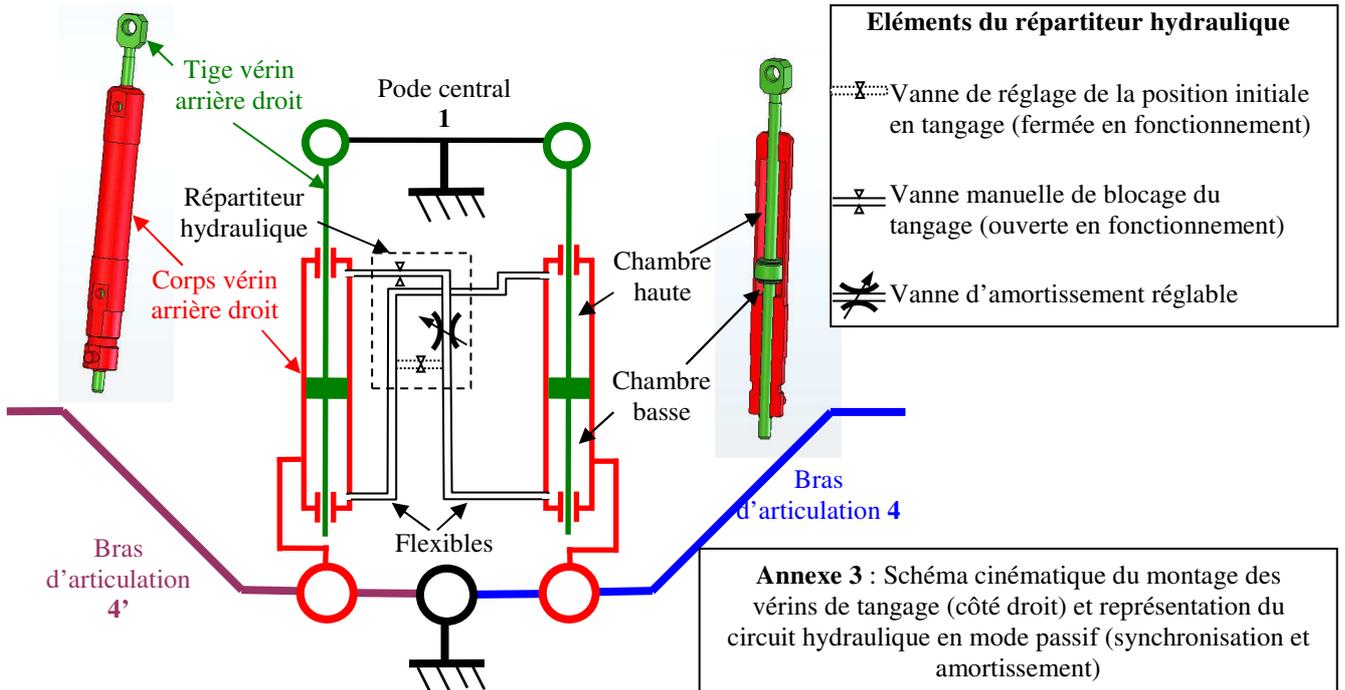
Annexe 1 : DIAGRAMMES D'EXIGENCES « Mobilité »



CIRCUIT HYDRAULIQUE

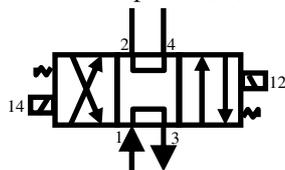


Annexe 2 : Description du circuit hydraulique complet (fixé sur le pod central 1)
(La roue centrale droite a été démontée pour faciliter la visibilité)

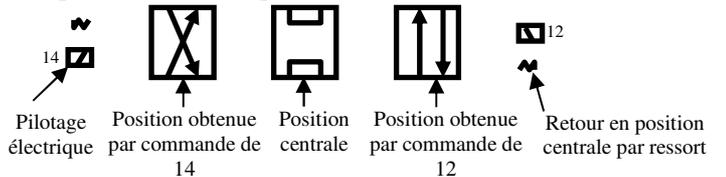


Fonction : Permettre de distribuer l'énergie hydraulique disponible suivant les ordres de commande

4 orifices : repères 1, 2, 3 et 4



3 positions = 3 états possibles du distributeur

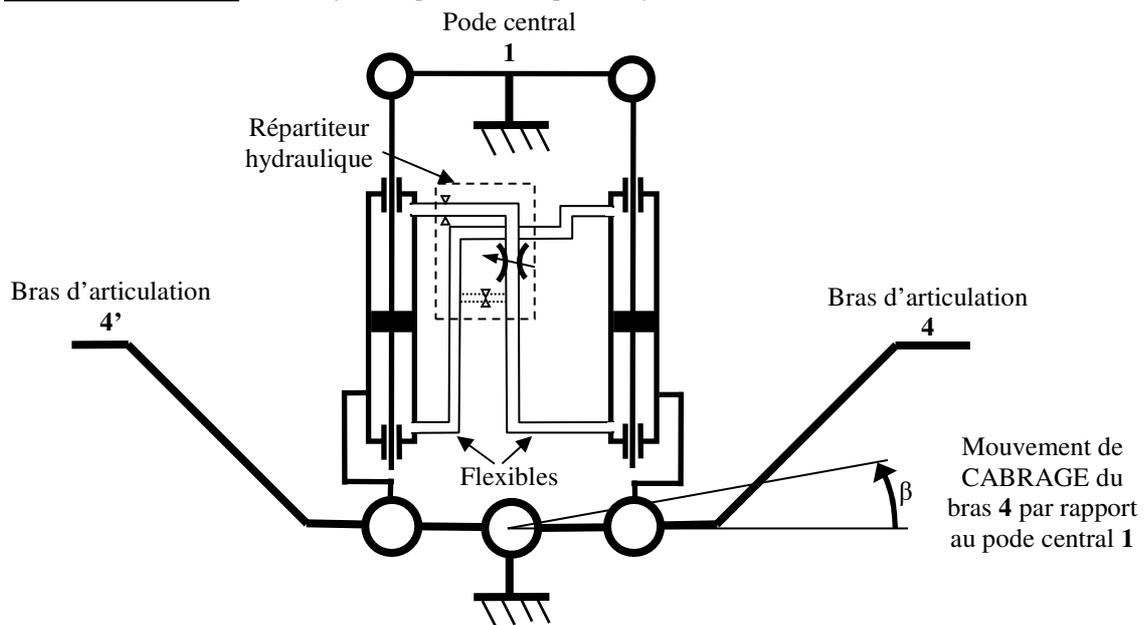


Annexe 4 : Normalisation et fonctionnement d'un distributeur 4/3

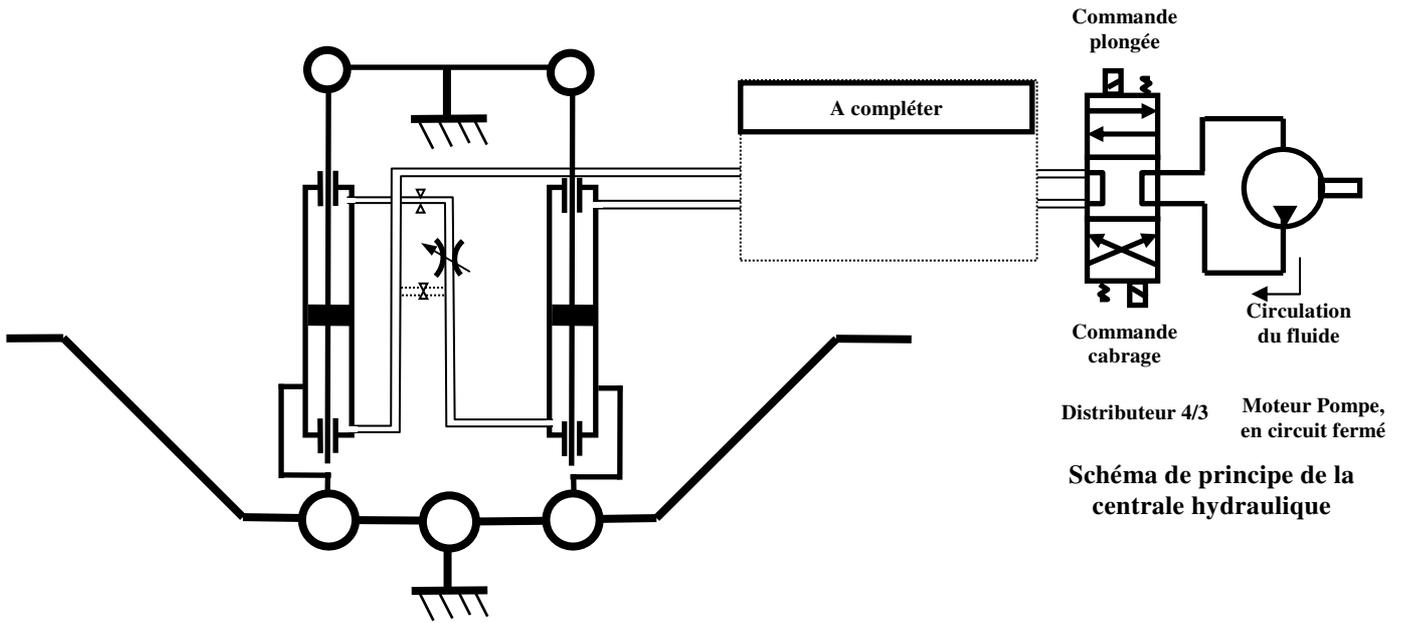
DOCUMENT REPONSES

Question 1 :

Questions 2 et 3 : circuit hydraulique en mode passif (synchronisation et amortissement)



Question 4 :



Question 5 :

Echelle graphique 1:10
 (1 cm sur le dessin correspond à 10 cm dans la réalité)

