

Présentation

La vidéo surveillance s'est fortement développée ces dernières années, essentiellement dans les lieux publics afin de contribuer à la sécurité et à la protection des biens et des personnes. Dans le domaine de l'élevage, la vidéo surveillance permet d'observer le comportement des animaux à distance et évite ainsi à l'éleveur des déplacements inutiles.

L'entreprise Visionaute a développé un produit robuste destiné à la surveillance des animaux d'élevage mais pouvant également être utilisé pour la surveillance de sites industriels, de hangars ou d'entrepôts. Ce robot de surveillance est équipé d'une caméra et d'un projecteur montés sur une tourelle pouvant éventuellement se déplacer sur un rail.



Le robot doit répondre à des contraintes exigeantes telles que :

- des conditions atmosphériques sévères avec de fortes variations de températures, d'humidité ou de luminosité ;
- des configurations d'implantation variées ;
- des zones à surveiller généralement étendues ;
- des lieux à surveiller souvent éloignés du lieu de contrôle.

Un éleveur souhaite utiliser ce robot afin de surveiller à distance des animaux situés dans un bâtiment dont les plans sont représentés dans le document technique DT1 page 9. La configuration particulière de ce bâtiment, composé de deux zones à surveiller A et B, nécessite l'utilisation d'une seule caméra se déplaçant sur un rail avec une rampe inclinée reliant les deux zones A et B.

Afin de prendre en compte les besoins de ce client, un cahier des charges a été établi.

Critères	Valeurs
Angle de rotation horizontale α_1 (azimut) (voir DT2)	360°
Angle de rotation verticale α_2 (élévation) (voir DT2)	180°
Déplacement possible sur un rail incliné d'un angle θ (voir DT1)	15°
Durée maximale du déplacement sur une portion de rail de 10 m	20 s
Nombre de positions pré-enregistrées	32
Précision du positionnement sur une position pré-enregistrée : <ul style="list-style-type: none"> - déplacement sur rail - rotation caméra 	5 mm 1°

Figure 1 : extrait du cahier des charges client

Afin de vérifier que le robot répond aux besoins particuliers de ce client, il est nécessaire de vérifier :

- sa capacité à couvrir la totalité des zones à surveiller ;
- les performances de déplacement et d'orientation de sa caméra ;
- sa capacité à se positionner automatiquement sur une zone préenregistrée ;
- sa capacité à acquérir et transmettre une vidéo de qualité ;
- sa capacité à être autonome énergétiquement.

1. Analyse du besoin et du système

Objectif de cette partie : Repérer et représenter les solutions technologiques choisies.

Les documents techniques DT2 page 10 et DT3 page 11 présentent les caractéristiques techniques du robot de surveillance. Ses deux fonctions de service essentielles sont :

- couvrir une grande zone de surveillance ;
- transmettre la vidéo et les commandes sur une grande distance.

Q1. À partir des documents techniques DT2 et DT3, **indiquer** les principales solutions techniques choisies par le constructeur pour répondre à ces deux fonctions de service.

Le schéma cinématique du robot de surveillance est représenté sur le document réponse DR1 page 16.

Q2. Compléter le tableau du document réponse DR1 en indiquant, pour chaque liaison repérée de 1 à 4 :

- le nom de la liaison ;
- le mouvement auquel elle participe, à choisir parmi les trois proposés (élévation, azimuth et déplacement sur rail) ;
- l'axe ou la direction dans le repère associé

2. Performances de déplacement de la caméra

Objectif de cette partie : Vérifier que les solutions technologiques choisies pour le déplacement de la caméra permettent de répondre aux attentes du client définies dans le cahier des charges.

Loi du mouvement pour le déplacement sur le rail

La figure 2 représente la loi de vitesse pour un déplacement du robot sur la totalité de la portion du rail horizontal de la zone B d'une longueur de 10 m (voir le document technique DT1 page 9). À chaque phase de ce déplacement est associée une durée T_i .

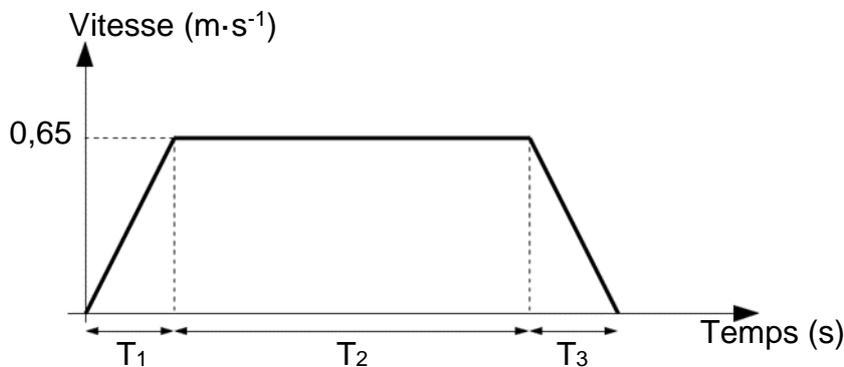


Figure 2 : Loi de vitesse pour un déplacement de la caméra sur le rail

Q3. Caractériser la nature du mouvement pour chacune des trois phases de ce déplacement.

Pour des raisons de stabilité de la caméra, le constructeur limite la vitesse de déplacement sur le rail à $0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ et l'accélération à $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Pour cette étude, les valeurs de l'accélération dans les phases 1 et 3 sont, en valeur absolue, égales à $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Q4. Déterminer les durées T_1 et T_3 . En **déduire** les distances parcourues lors des phases d'accélération et de la décélération. **Déterminer** la durée T_2 . En **déduire** la durée totale du déplacement sur la portion de rail de 10 m.

Q5. Justifier que le profil de vitesse permet de répondre au cahier des charges (figure 1 page 1) en termes de durée de déplacement.

3. Performances de positionnement de la caméra

Objectif de cette partie : vérifier que les solutions technologiques choisies pour le positionnement de la caméra répondent au cahier des charges.

Le choix de la solution technologique pour l'orientation de la caméra s'est porté sur l'utilisation de deux moteurs pas à pas. La structure mécanique de la tourelle et les principales caractéristiques sont données sur la figure 5 page 4. La chaîne fonctionnelle est illustrée sur la figure 3.

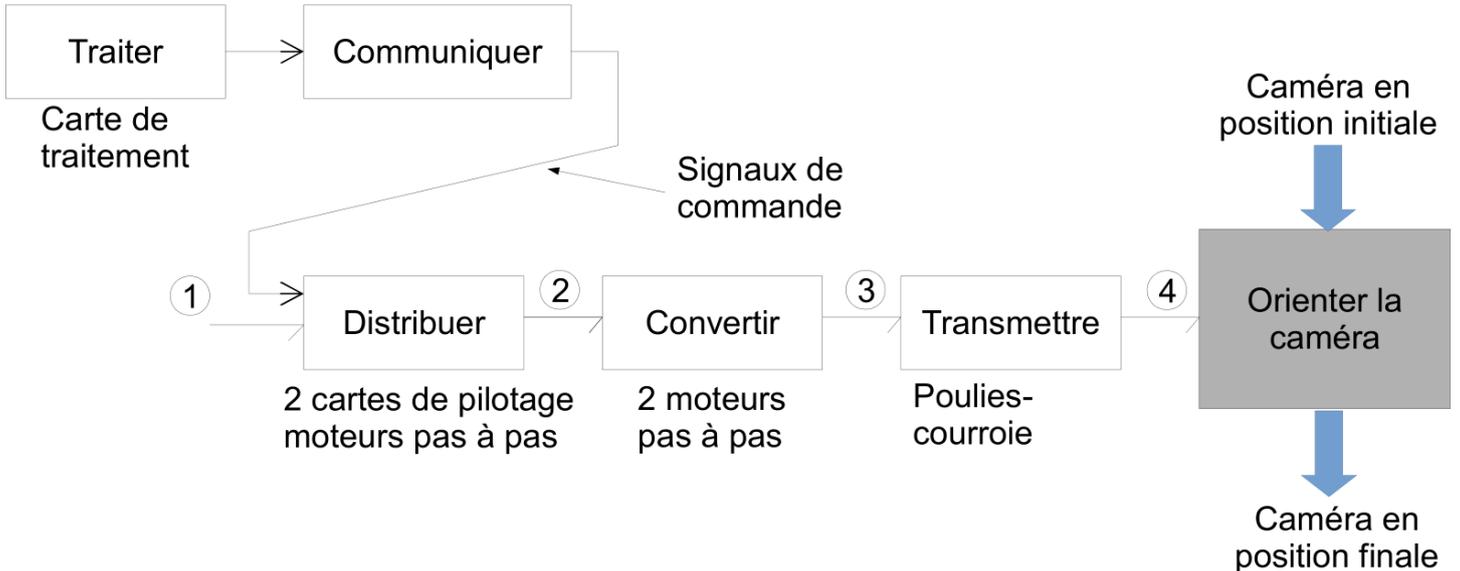


Figure 3 : chaîne fonctionnelle de la fonction orienter la caméra

Q6. Indiquer, sous forme de tableau, pour chaque repère (de 1 à 4) de la chaîne fonctionnelle de la figure 3, la forme d'énergie transmise ainsi que les variables d'effort et de flux associées.

Les cartes de pilotage permettent de traduire les ordres de commande en une position angulaire de l'arbre du moteur. À chaque impulsion du signal de commande, l'arbre du moteur effectue une rotation d'un pas comme indiqué sur la figure 4.

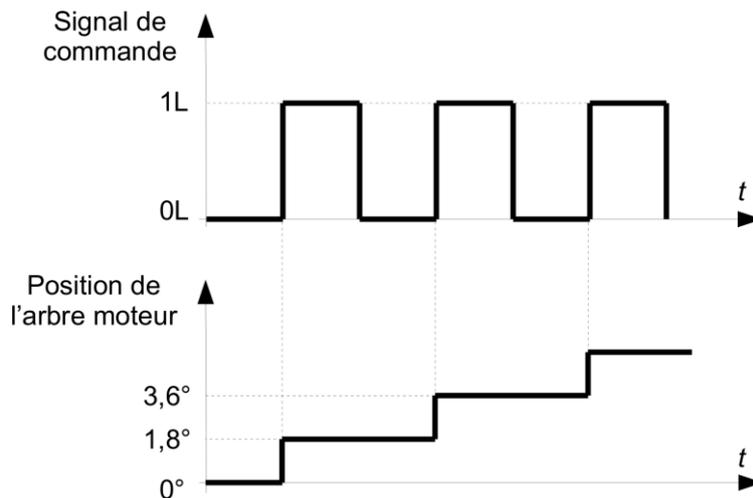


Figure 4 : position de l'arbre moteur en fonction du signal de pilotage

Pour chaque mouvement de rotation (azimut et élévation), une transmission poulies-courroie permet de réduire la vitesse de rotation de la caméra.

Q7. À partir des indications fournies dans la figure 5, déterminer le rapport de réduction de la transmission poulies-courroie. En **déduire** l'angle de rotation d'azimut et d'élévation de la caméra pour une rotation d'un pas de l'arbre moteur.

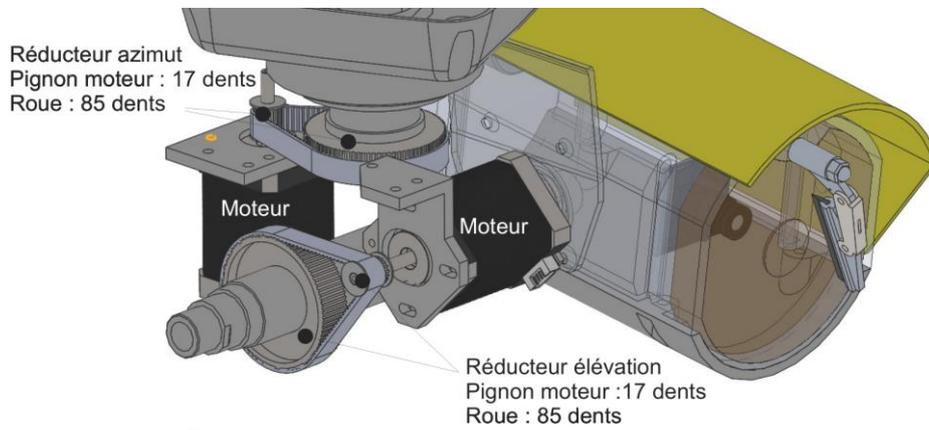


Figure 5 : moteurs et réducteurs d'azimut et d'élévation

Q8. Indiquer pourquoi l'utilisation de moteurs pas à pas permet de connaître la position angulaire de la caméra sans utiliser de capteur.

Pour obtenir une vidéo de qualité, des essais ont permis de définir que l'angle de rotation élémentaire de la caméra (azimut ou élévation), correspondant à une rotation d'un pas d'arbre moteur, devait engendrer une déviation maximale d de 200 mm de la surface visionnée à 20 m (voir figure 6).

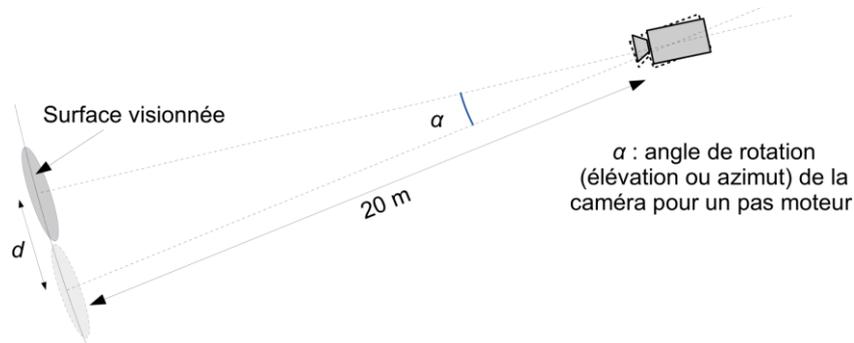


Figure 6 : rotation de la caméra pour un pas d'arbre moteur

Q9. Déterminer la valeur de la distance d pour une rotation d'un pas d'arbre moteur (azimut ou élévation). **Comparer** cette valeur avec la valeur de la déviation maximale attendue.

Ajustement automatique de la vitesse de rotation de la caméra

Le constructeur a ajouté la fonction « Automouv » qui permet d'ajuster automatiquement les vitesses de rotation de la caméra en fonction de la position du zoom (voir les spécifications techniques du document technique DT2 page 10).

Le document technique DT5 page 13 présente le parcours de l'information à partir de l'organe de commande (exemple : smartphone) jusqu'aux pilotes des moteurs pas à pas. Lorsque l'opérateur effectue un réglage du zoom, la variable Reg_zoom est transmise jusqu'à la carte de traitement via les différents moyens de communication. À partir de la valeur de cette variable, la carte de traitement détermine les signaux de pilotage des deux moteurs pas à pas.

Le modèle multiphysique représenté sur la figure 7 est réalisé afin de mettre au point le programme qui permet d'adapter les vitesses de rotation de la caméra à la position du zoom.

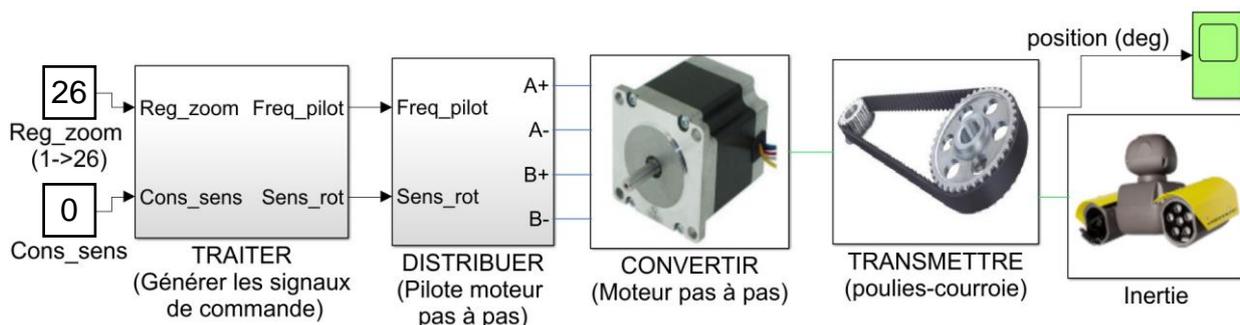


Figure 7 : modèle multiphysique relatif à la rotation de la caméra

Le tableau de la figure 8 reprend les valeurs limites des différentes variables.

Reg_zoom	Vitesse de rotation de la caméra	Fréquence de rotation de l'arbre moteur (pas/s)
1 (zoom x 1)	360° en 10 s soit 36°/s	f_1
26 (zoom x 26)	360° en 6 min 40 s soit 0,9°/s	f_2

Figure 8 : valeurs limites des variables

Q10. Calculer, en pas/s, les valeurs f_1 et f_2 de la fréquence de rotation du moteur.

Le programme implanté dans le module « TRAITER » (figure 7 page 4) nécessite de connaître la relation entre la valeur de la fréquence du signal de pilotage (Freq_pilote) et la valeur de réglage du zoom (Reg_zoom). Cette relation correspond à l'équation de la droite représentée sur la figure 9.

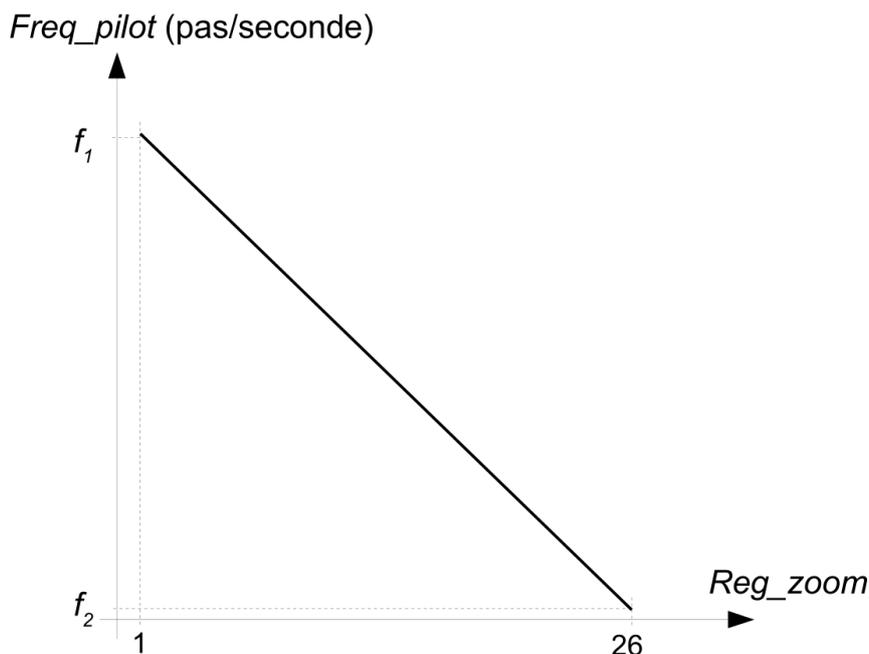


Figure 9 : caractéristique de pilotage d'un moteur pas à pas

Q11. Déterminer l'équation de la caractéristique de pilotage à renseigner dans le programme à implanter dans le module « TRAITER » (figure 7).

Les résultats des simulations réalisées pour les deux valeurs de zoom limites (x1 et x26) sont représentés sur la figure 10.

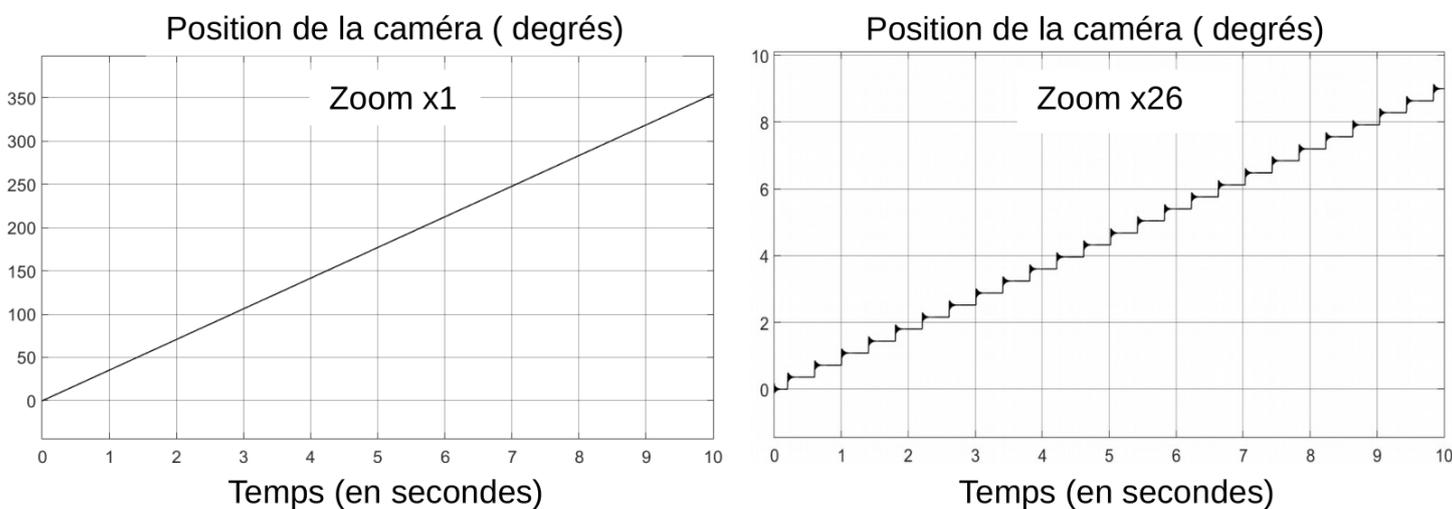


Figure 10 : simulation avec zoom x1 et zoom x26

Q12. À partir des relevés de la figure 10, déterminer les vitesses moyennes de rotation de la caméra puis les comparer avec les valeurs attendues indiquées par le constructeur.

Mémorisation des positions

Afin de limiter les commandes de mouvements, le client souhaite pouvoir mémoriser des positions prédéterminées de la caméra. Le robot de surveillance doit se rendre automatiquement à la position sélectionnée.

Une position de la caméra est déterminée par :

- la position du chariot sur le rail ;
- la position de la caméra en élévation et en azimut.

L'acquisition de la position du chariot sur le rail est réalisée par l'intermédiaire d'un codeur incrémental monté sur l'axe du motoréducteur dont la vitesse de rotation est identique à celle du galet d'entraînement sur le rail (voir document technique DT4 page 12). La résolution du codeur incrémental est de 100 impulsions/tour. Le rail a une longueur totale de 25 m.

Q13. Déterminer, en millimètres, la valeur de la précision de positionnement sur le rail.
Comparer cette valeur à celle indiquée dans le cahier des charges de la figure 1 page 1.

Q14. Déterminer la valeur maximale du compteur d'impulsions après un déplacement de 25 m.
En **déduire** la taille minimale de la variable Nbrs_Imp en nombre de bits et **justifier** l'utilisation de 2 octets pour mémoriser cette variable.

Les positions de la tourelle (azimut et élévation) ne sont pas définies à partir de capteurs mais à partir du comptage des impulsions du signal de commande des moteurs pas à pas (voir figure 4 page 3). Les amplitudes maximales des angles de rotation sont :

- 180° pour l'élévation ;
- 360° pour l'azimut.

À chaque impulsion transmise à la carte de pilotage, la caméra tourne d'un angle de 0,36°.

Q15. Déterminer le nombre d'impulsions nécessaires pour couvrir les amplitudes maximales des angles de rotation en élévation et en azimut. En **déduire** le nombre d'octets nécessaires pour mémoriser chaque position.

Le constructeur a réservé un espace mémoire sur la carte de traitement pour mémoriser des variables de l'adresse \$2000 à l'adresse \$217F (valeurs en hexadécimal). Chaque adresse mémoire permet de mémoriser un octet.

Q16. Calculer le nombre d'octets disponibles et **vérifier** si la mémoire réservée sur la carte de traitement est suffisante pour mémoriser 32 positions pré-enregistrées de la caméra.

Q17. Conclure quant aux performances du robot de surveillance à se positionner convenablement et à effectuer une observation correcte.

4. Évolutions du produit

Objectif de cette partie : analyser la possibilité de rendre autonome en énergie le robot.

Actuellement, l'alimentation en énergie ainsi que la transmission des données sont réalisées grâce à des câbles tirés par le chariot.

Afin d'améliorer les performances du robot dans des applications particulières (rampes, rail coudé) le constructeur envisage de supprimer ces câbles. Pour cela il faut :

- alimenter le chariot en énergie par une batterie embarquée ;
- remplacer le moteur asynchrone de traction par un moteur alimenté en courant continu.

Alimentation autonome

Afin de vérifier les performances de la batterie, il a été défini un scénario de surveillance type d'une durée de 30 s dans les conditions les plus défavorables (obscurité, température négative). Le chronogramme de la figure 11 indique la consommation compte tenu des éléments alimentés. Les valeurs des courants sont des valeurs moyennes définies à partir de mesures réalisées sur le système réel.

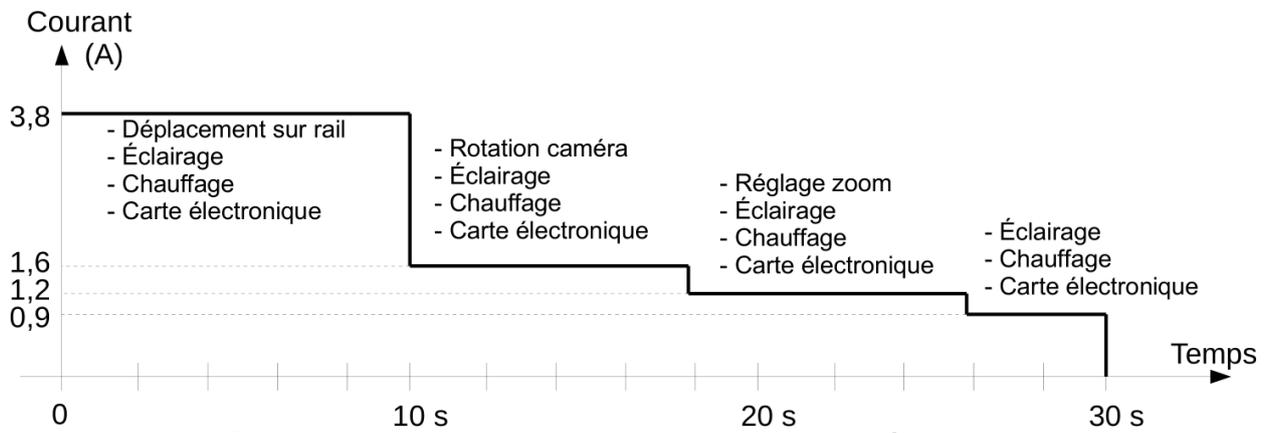


Figure 11 : consommation pour un cycle du scénario type

Q18. Déterminer, pour un cycle du scénario type, la consommation en A·h.

On souhaite une autonomie de 7 jours à raison de 10 cycles par jour. Afin d'optimiser la durée de vie de la batterie, on souhaite qu'elle ne se décharge pas en dessous de 20 % de sa capacité nominale.

Q19. Déterminer, en A·h, la capacité minimale que devra posséder la batterie.

Un modèle de la batterie alimentant le robot est réalisé afin de vérifier ses performances (figure 12). Pour des raisons économiques, il est envisagé d'utiliser une batterie de technologie Lithium-ion identique à celles utilisées sur certains outils portatifs (visseuses, perceuses...). Les caractéristiques de la batterie choisie sont les suivantes : tension nominale de 24 V et capacité nominale de 2 A·h.

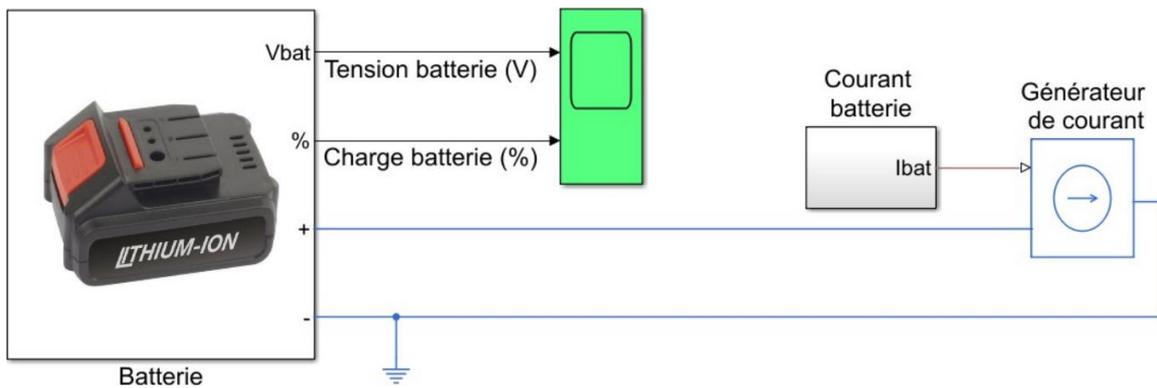


Figure 12 : modèle de l'alimentation par batterie

Le générateur de courant utilisé dans le modèle multiphysique impose le courant de décharge de la batterie pendant le cycle représenté sur la figure 11. Les cycles sont répétés en boucle à raison de 10 cycles par jour.

La figure 13 représente les résultats de la simulation avec la batterie envisagée.

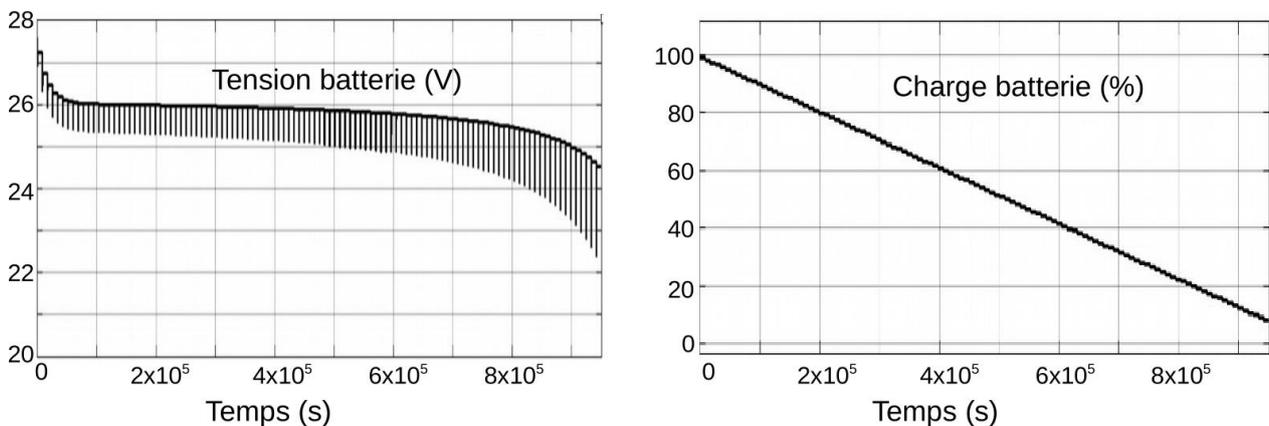


Figure 13 : résultats de la simulation

Q20. À raison de 10 cycles par jour, déterminer, à partir des résultats de la simulation, l'autonomie du robot. **Comparer** cette valeur avec les attendus du client.

Performance de la nouvelle motorisation

Les caractéristiques techniques du nouveau motoréducteur à courant continu sont indiquées dans le document technique DT6 page 14. Un modèle multiphysique du sous-système d'entraînement sur rail est réalisé afin d'étudier les performances du motoréducteur choisi. Ce modèle, ainsi que les résultats des simulations, sont présentés dans le document technique DT7 page 15.

Q21. Relever la valeur du courant nominal du motoréducteur à partir des caractéristiques techniques présentées dans le document technique DT6. **Justifier** le choix de ce motoréducteur compte tenu des résultats de la simulation du document technique DT7.

Des essais ont été réalisés sur le nouveau robot afin de relever la vitesse du chariot lors de son déplacement sur le rail ainsi que le courant consommé par le moteur. La vitesse est définie à partir des relevés issus du codeur incrémental monté sur l'axe de sortie du réducteur comme indiqué sur le document technique DT4 page 12. Pour chaque période du signal issu du codeur incrémental, le galet d'entraînement effectue un centième de tour.

Le courant a été relevé au moyen d'une sonde de courant de sensibilité 1 volt/ampère.

Deux essais sont réalisés :

- lors d'un déplacement sur le rail horizontal (figure 14) ;
- lors d'un déplacement sur la rampe inclinée à 15° (figure 15).

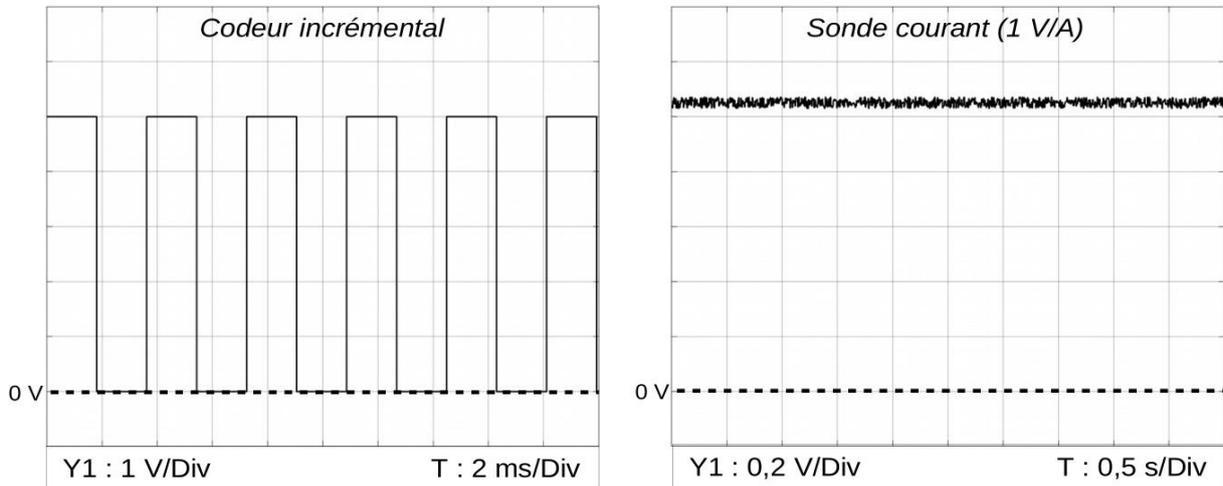


Figure 14 : mesures réalisées pour un déplacement sur le rail horizontal (relevés d'oscilloscope)

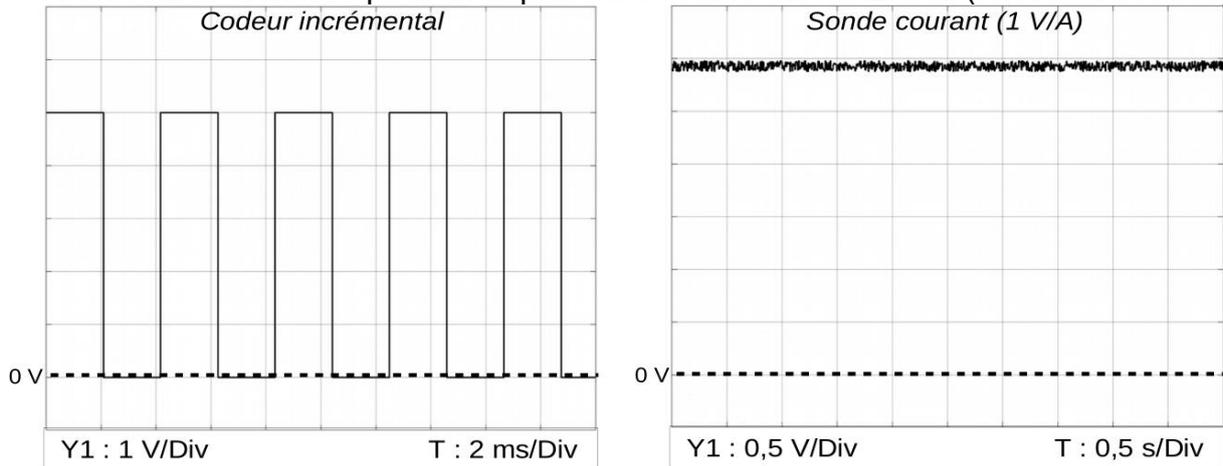
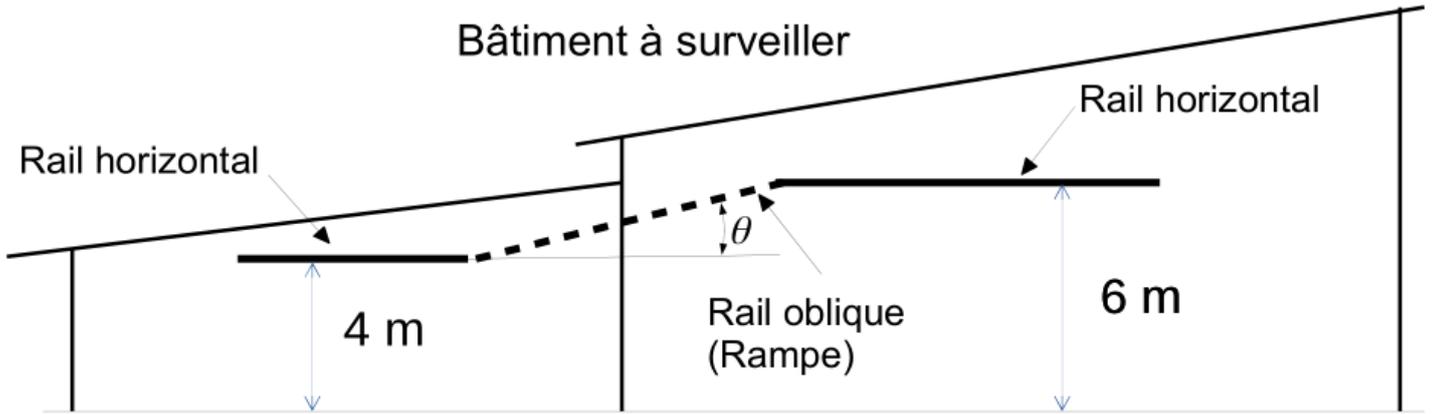


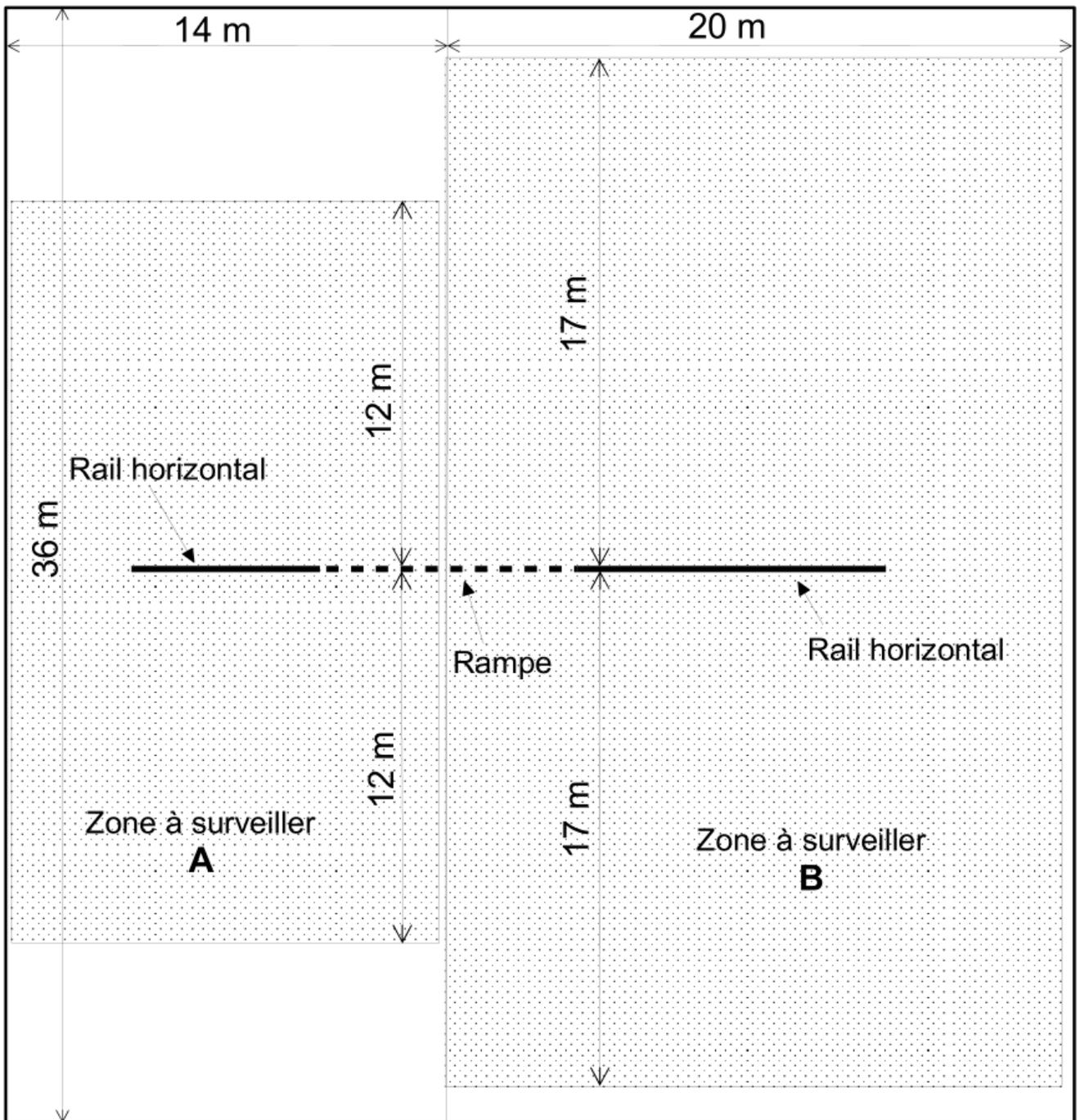
Figure 15 : mesures réalisées pour un déplacement sur la rampe inclinée à 15°

Q22. À partir des relevés de mesures représentés sur la figure 14 et la figure 15, **déterminer**, pour chaque essai, la valeur de la vitesse de déplacement du chariot en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ainsi que la valeur de l'intensité du courant. **Comparer** ces valeurs avec celles issues de la simulation présentée sur le document technique DT7 page 15 et **justifier** les écarts.

Q23. Conclure quant à la pertinence de cette proposition d'amélioration du système.

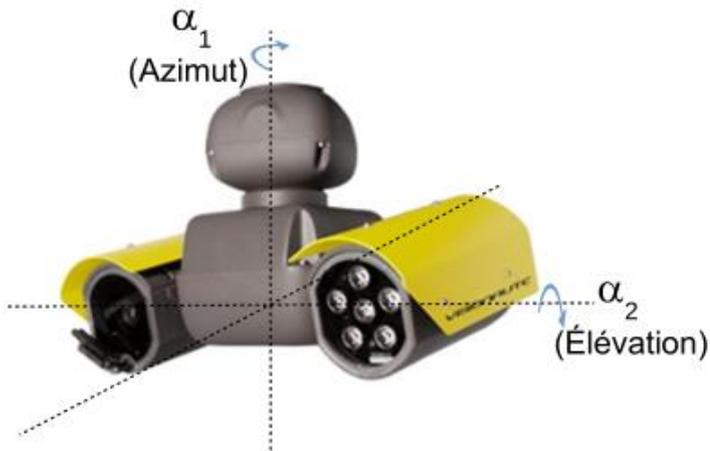


Vue de face



Vue de dessus

Tourelle avec caméra et éclairage



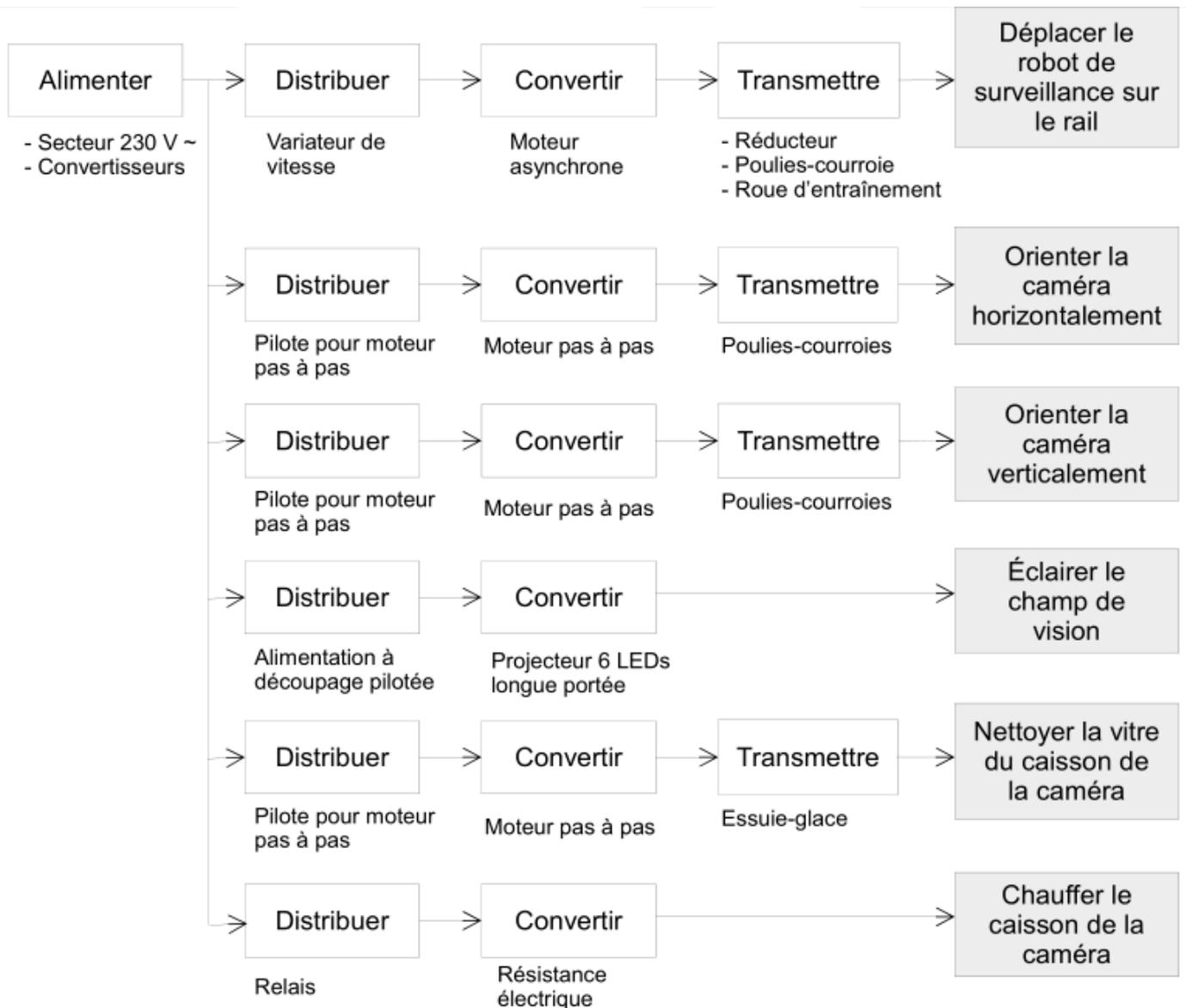
Tourelle montée sur le chariot



Principales caractéristiques techniques

Alimentation en énergie	Réseau 230 V – 50 Hz
Angle de rotation horizontale (azimut)	Sans butée (contact électrique avec frotteurs et bagues)
Caméra	Standard ou haute définition (option) Zoom : 1x à 26x
Angle de rotation verticale (élévation)	De -90° à $+90^\circ$ par rapport à la position horizontale
Vitesse de rotation de la caméra (azimut et élévation)	Adaptable automatiquement à la vitesse du zoom. Pour zoom x 1 : 360° en 10 s. Pour zoom x 26 : 360° en 6 min et 40 s.
Vitesse maximale de déplacement sur le rail	$0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

DT3 : Chaîne d'énergie et d'information

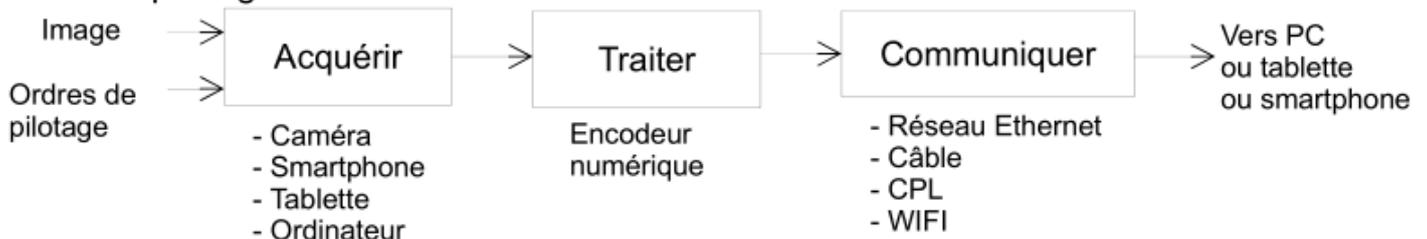


Le robot de surveillance est complété d'un système de transmission de la vidéo et des commandes. Différents moyens de transmission sont proposés afin de pouvoir répondre aux différentes configurations des sites à surveiller :

- transmission filaire (câble réseau, CPL*) ;
- transmission par ondes (Wifi).

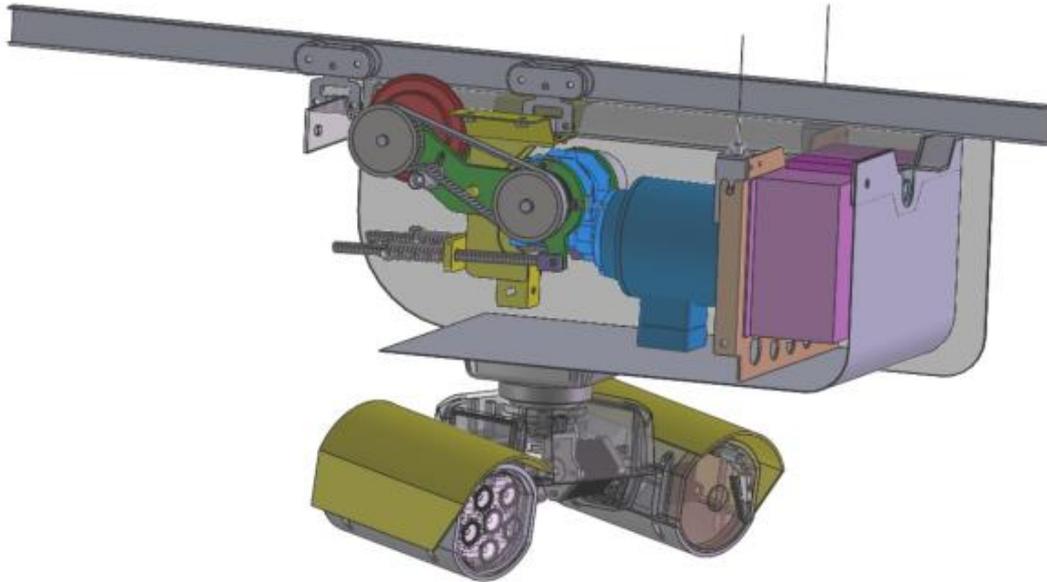
Le contrôle des mouvements du robot peut être réalisé à partir d'un ordinateur, d'une tablette ou d'un smartphone.

La chaîne d'information relative à l'acquisition et à la transmission de la vidéo et des ordres de pilotage de la caméra est décrite ci-dessous.



* CPL - Courant Porteur en Ligne. Utilise les lignes électriques existantes pour transporter l'information.

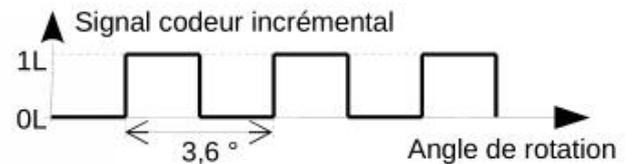
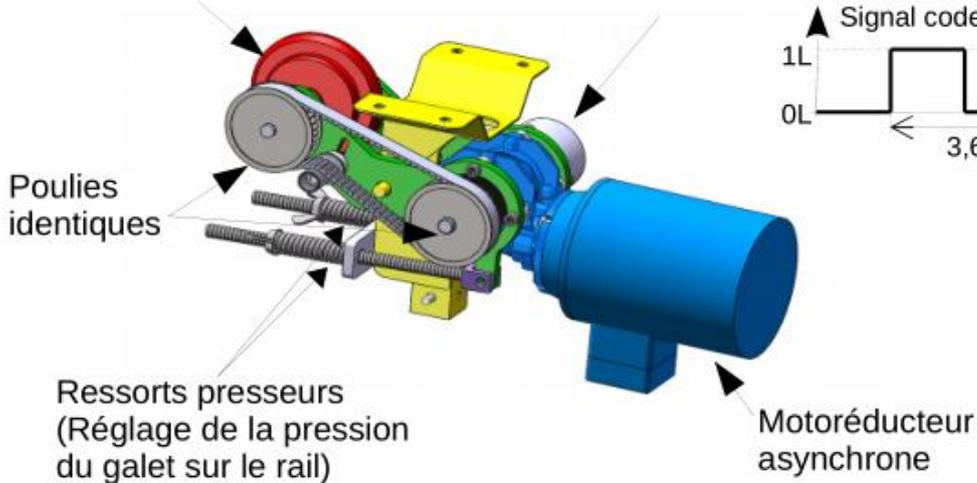
Modèle 3D du robot de surveillance



Sous-ensemble de traction de la caméra sur le rail.

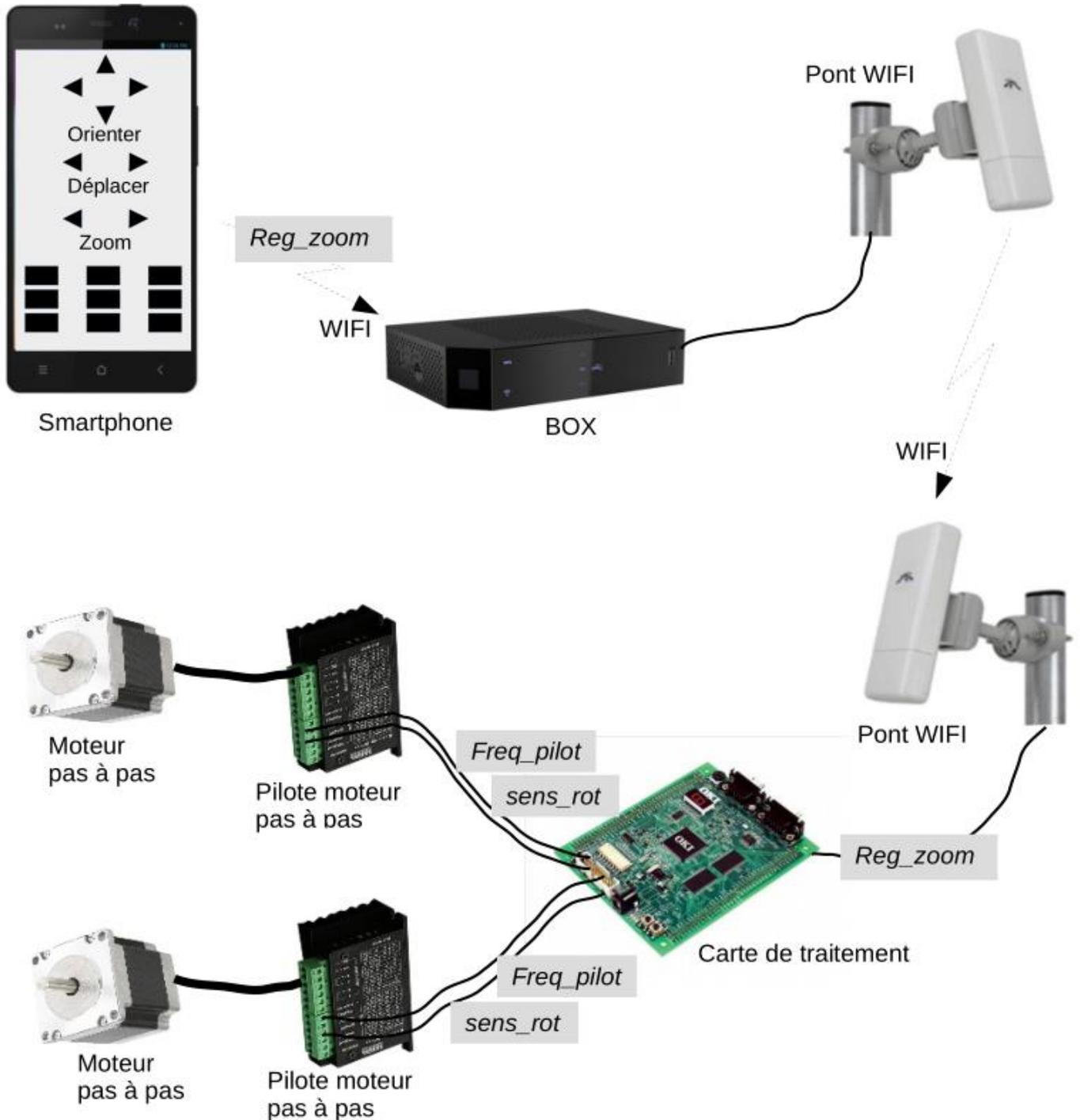
Galet d'entraînement
Diamètre : 90 mm

Codeur incrémental monté sur l'axe du réducteur.
Résolution : 100 impulsions/tour



Caractéristiques du motoréducteur asynchrone d'entraînement

Grandeur	Valeur	Unité
Tension d'alimentation	3 x 230	V
Courant nominal	0,55	A
Puissance utile nominale	160	W
Couple nominal	11,5	N.m
Vitesse nominale	140	tr·min ⁻¹



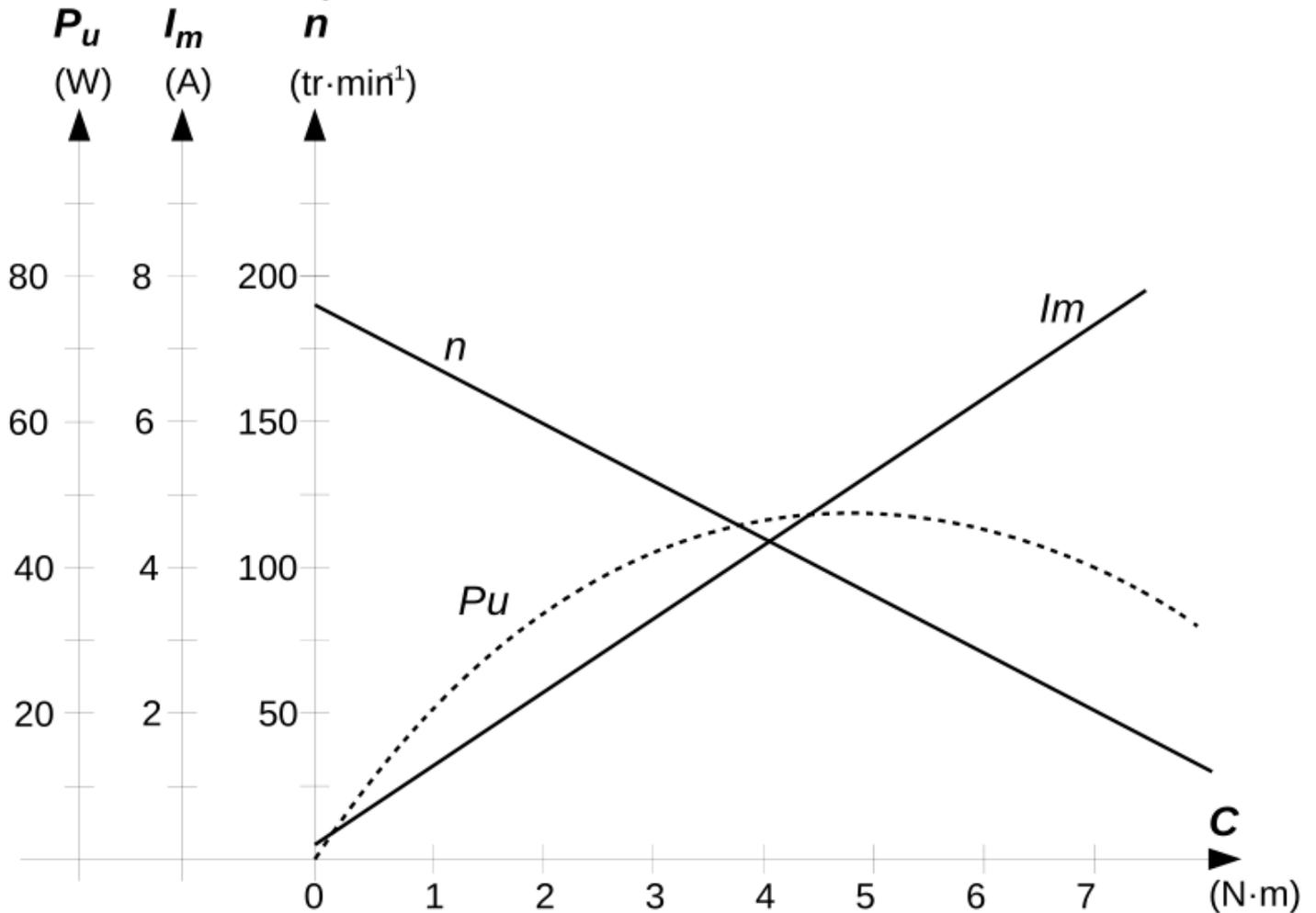
Le réglage du zoom sur le smartphone ajuste une variable **Reg_zoom** variant de la valeur 1 (zoom x 1) à la valeur 26 (zoom x 26). La variable **Reg_zoom** est transférée, via le réseau, jusqu'à la carte de traitement. Celle-ci contient un module programme qui calcule la valeur de la consigne de vitesse nommée **Cons_pilote** codée sur un octet dont la valeur peut varier de 0 à 255. La carte de traitement possède un convertisseur numérique analogique (C.N.A) qui convertit la valeur numérique **Cons_pilote** en une tension **U_pilote** comprise entre 0 et 5 V.

Principales caractéristiques du motoréducteur

Grandeur	Valeur	Unité
Tension nominale	24	V
Couple nominal	2,7	N·m
Vitesse nominale	135	tr·min ⁻¹



Courbes caractéristiques du motoréducteur

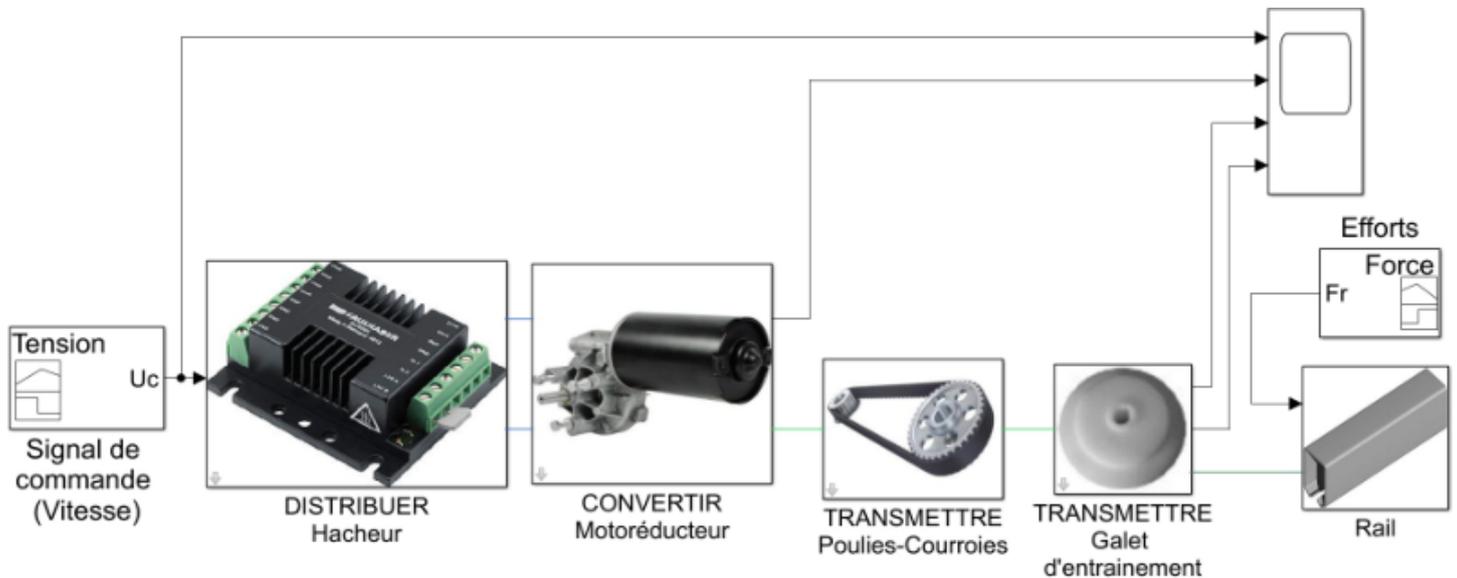


P_u : puissance utile du motoréducteur.

I_m : courant absorbé par le moteur.

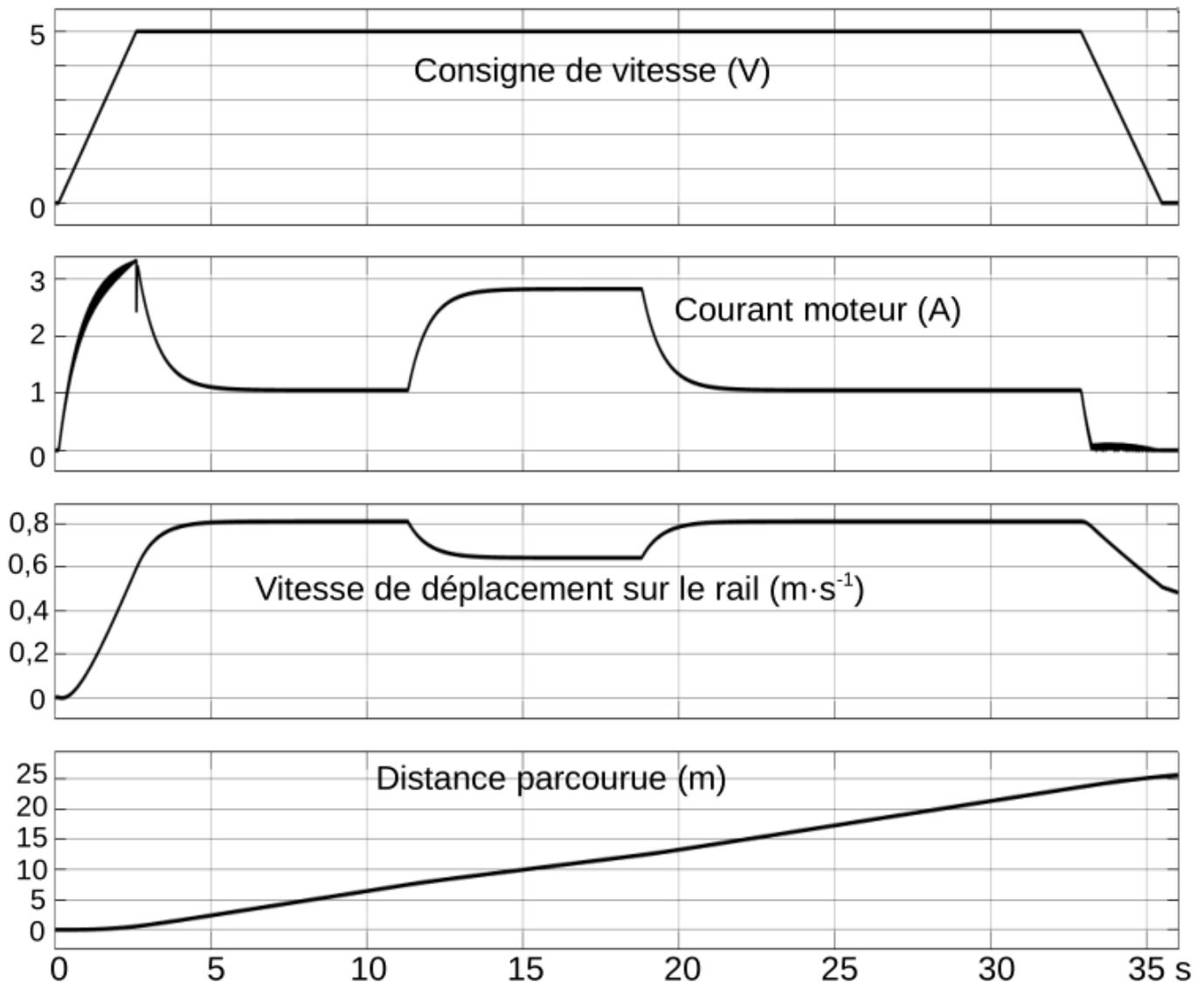
n : vitesse de rotation en sortie du réducteur.

C : couple disponible sur l'axe du réducteur.



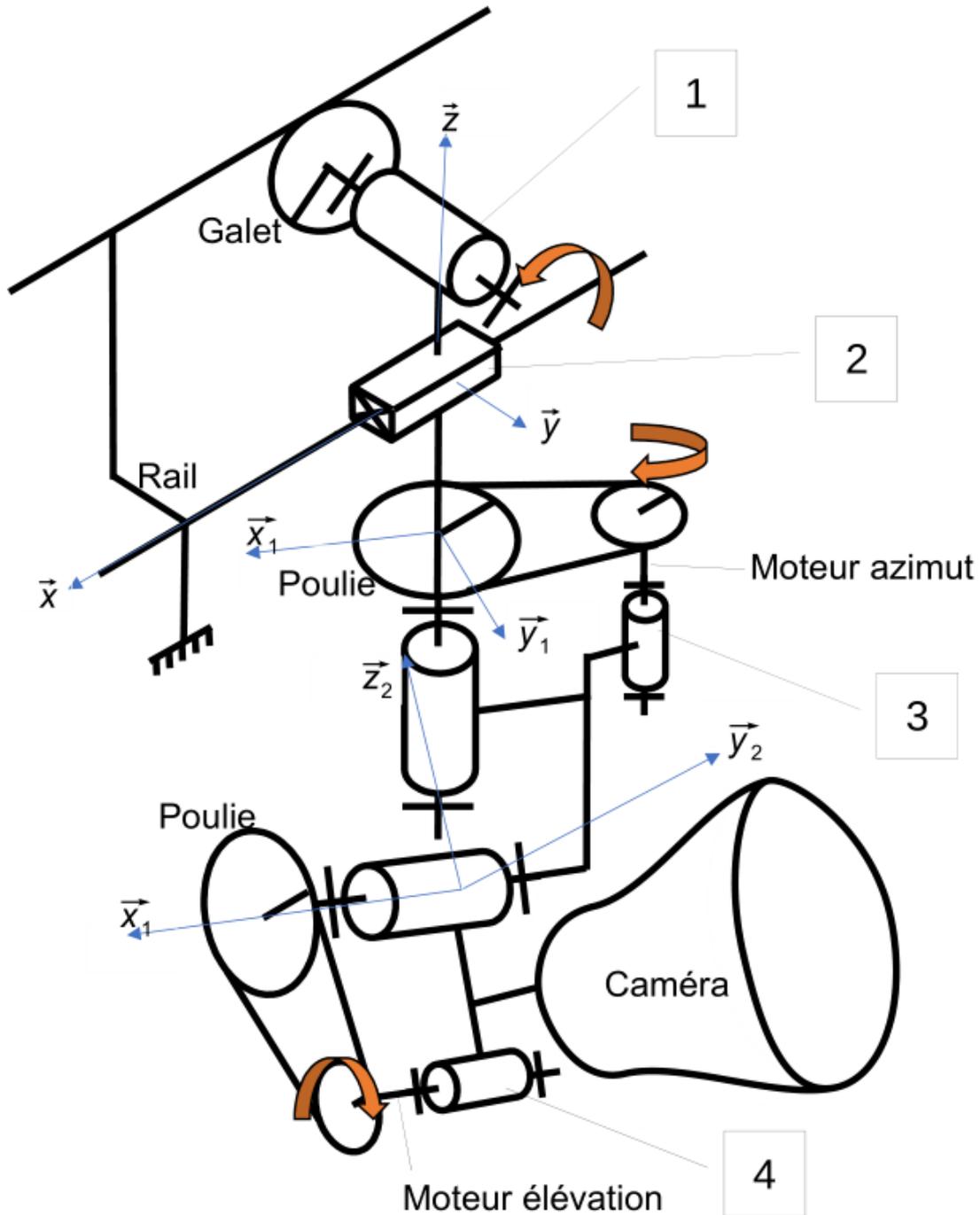
Relevés de la simulation

La simulation est réalisée pour un déplacement sur la totalité du rail à partir de la zone de surveillance A (voir le plan du document technique DT1 page 18).



DR1 : Schéma cinématique du robot de surveillance

Q2



Repère	Nom de la liaison	Axe ou direction de la liaison dans le repère associé	Mouvement associé : - élévation - azimut - déplacement sur rail
1			
2			
3			
4			