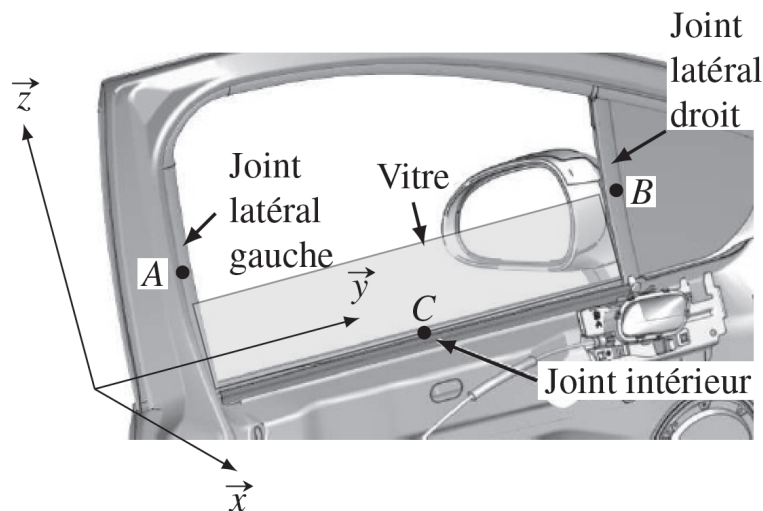


TD4 - Commande générique d'ouvrants pilotés d'automobiles¹



Les constructeurs automobiles sont sans cesse dans l'obligation d'innover pour rester attractifs vis-à-vis du client. Les ouvrants pilotés automobiles font partie des atouts différenciateurs. Le terme ouvrant désigne à la fois les lève-vitres électriques, les toits ouvrants, les toits escamotables, les coffres motorisés et les portes latérales coulissantes. Tous ces ouvrants sont une source d'attrait pour le client, de par leur praticité ou encore par leurs facteurs de différenciation importants.



FIGURE 1 : Différents types d'ouvrants du groupe PSA

Il existe deux types de pilotage des ouvrants :

- le premier est un système classique et/ou d'assistance. L'utilisateur gère complètement le déplacement de l'ouvrant. Dès qu'il arrête son action sur la commande, l'ouvrant s'immobilise, c'est le cas par exemple du lève-vitre électrique non séquentiel. Ainsi, avec un système classique et/ou d'assistance, le déplacement de l'ouvrant est entièrement imputable aux actions de l'utilisateur ;
- le second type est le pilotage automatisé des ouvrants. Ici, l'utilisateur demande simplement à ce que l'ouvrant se déplace jusqu'à une position prédéfinie. Une brève action de sa part entraîne le déplacement complet de l'ouvrant. Pour le lève-vitre électrique séquentiel, l'utilisateur demande à ce que la vitre remonte complètement, par une courte action sur l'interrupteur. Dès lors, le système de contrôle/commande gère le déplacement de l'ouvrant dans le cas normal, mais aussi en cas de dysfonctionnement (perte de fonctionnalité ou présence d'un obstacle sur le trajet de la vitre). Il faut donc assurer un fonctionnement sûr et robuste du système d'ouvrant piloté automatisé pour éviter que le système blesse un occupant.

1. Extrait CCINP - PSI - 2017

Le diagramme des exigences de la figure 2 liste quelques performances attendues pour le lève-vitre électrique.

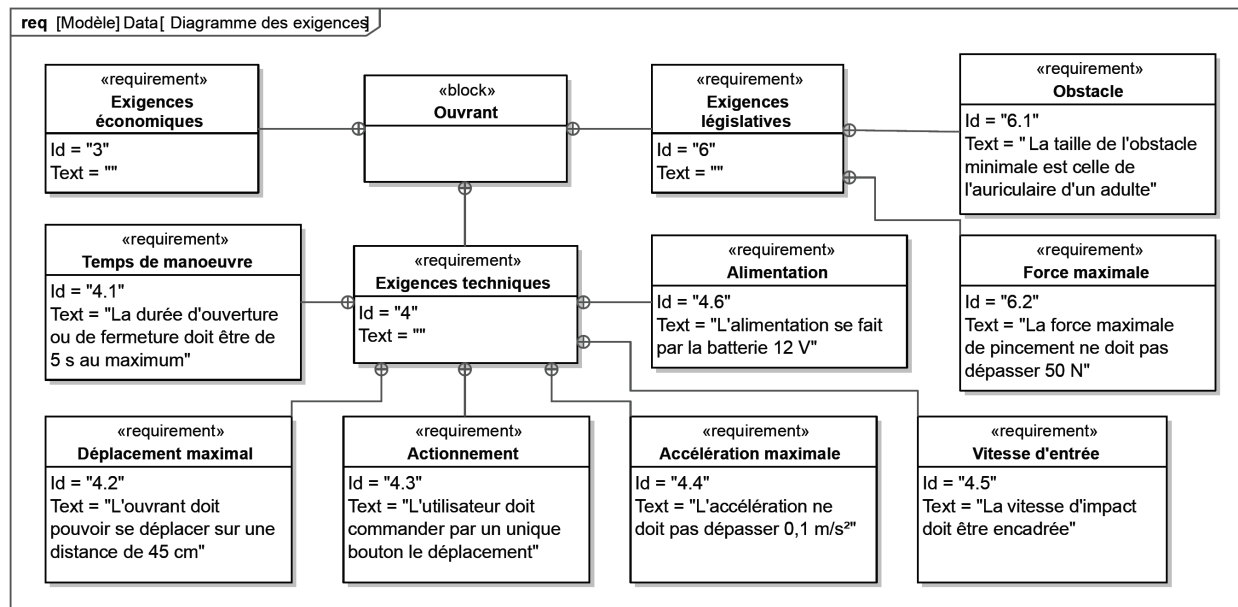


FIGURE 2 : Diagramme des exigences

I Modélisation multiphysique du système

Un modèle multiphysique doit être mis en place pour pouvoir prendre en compte tous les phénomènes qui apparaissent lors du fonctionnement de la vitre sans et avec obstacle.

Le schéma-blocs est donné sur la figure 3. Les différents éléments intervenant dans ce modèle doivent être caractérisés séparément pour obtenir une représentation la plus fidèle possible de la réalité.

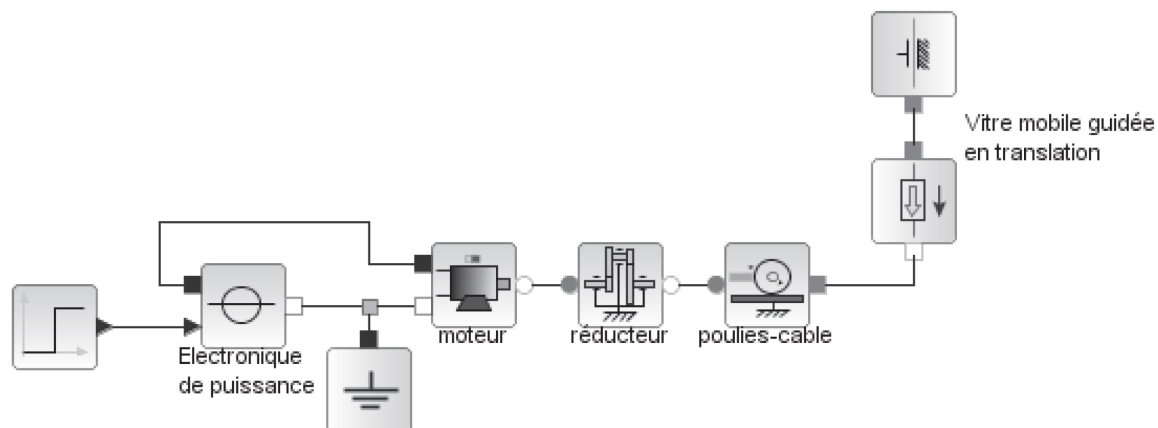


FIGURE 3 : Schéma-blocs du lève-vitre sans obstacle

I.1 Modélisation des efforts de frottement

D'un point de vue des actions mécaniques, les joints jouent fortement sur le comportement de la motorisation au cours du temps. C'est pourquoi il est important d'évaluer l'impact des frottements entre les joints et la vitre sur le comportement du système. Les joints appliquent une action **de part et d'autre** de la vitre.

Le paramétrage est donné sur la figure 4 où seules les actions normales sont représentées. Le contact entre le joint inférieur et la vitre est permanent et se fait approximativement sur un segment de longueur $L = 776$ mm. Le contact entre les joints latéraux (gauche et droit) se fait progressivement au cours du déplacement de la vitre.

La hauteur des deux joints, supposés identiques, est $H = 450$ mm.

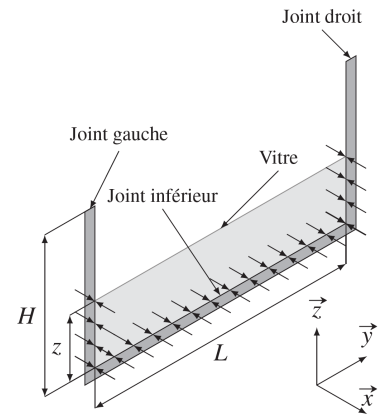


FIGURE 4 : Paramétrage et représentation des efforts normaux uniquement

Le coefficient de frottement entre un joint et la vitre est pris égal à $f = 0,5$. Les zones de contact sont supposées être linéiques et la densité linéique d'effort au contact entre un joint et la vitre est supposée constante et égale à $p = 25 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$.

Q1. Déterminer l'expression littérale de la résultante selon $\vec{z}$ de l'action mécanique du joint inférieur sur la vitre au cours du déplacement de celle-ci.

On suppose que la vitesse de déplacement de la vitre est constante et que le temps du déplacement complet est de 4 s.

Q2. Représenter l'évolution au cours du temps de la résultante des efforts résistants selon $\vec{z}$ de l'ensemble des joints sur la vitre (2 joints verticaux de hauteur H et un joint horizontal de longueur L). Donner les valeurs numériques minimale et maximale de cet effort.

Sur le schéma-blocs de la figure 5, apparaissent les actions de frottements des joints qui sont exercées sur la vitre.

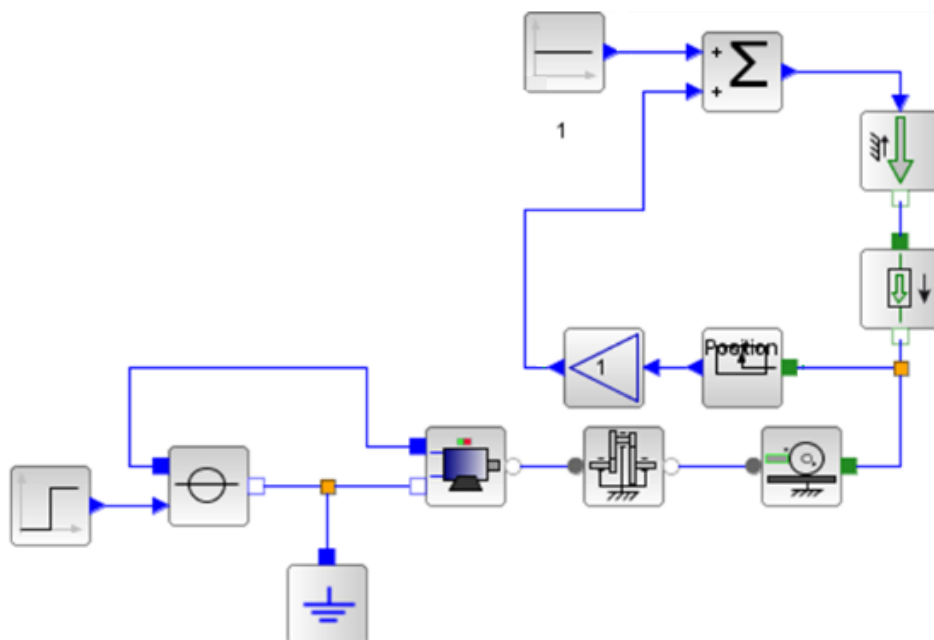


FIGURE 5 : Schéma-blocs à compléter

Q3. Indiquer, en entourant sur la figure 5, l'action du joint horizontal inférieur (en rouge) et l'action des joints verticaux latéraux (en vert).

I.2 Modélisation du contact avec un obstacle

Dans le cas d'un ouvrant piloté, l'obstacle est souvent une main. Des études montrent que les phalanges sont très résistantes et peuvent supporter des efforts allant de 250 à 1 150 N en fonction des différentes phalanges.

On modélise donc l'obstacle entre le châssis et la vitre par une raideur k (cette raideur peut varier de 10 à 50 N/mm).

Q4. Compléter, en réalisant un tracé de couleur bleue, le schéma-blocs multiphysique de la figure 6 pour prendre en compte cet obstacle. Une palette composée de constituants standards est donnée sur la figure 7.

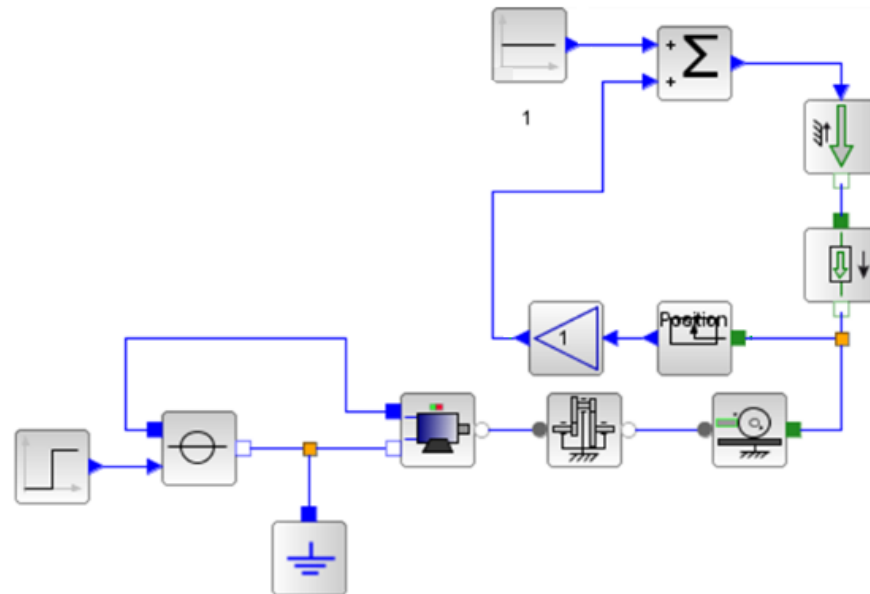


FIGURE 6 : Schéma-blocs à compléter

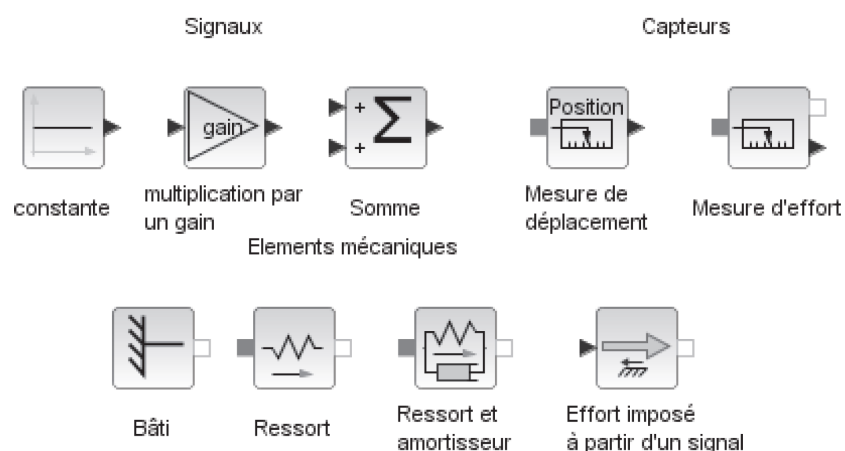


FIGURE 7 : Palette de constituants ou fonctions standards

I.3 Validation du modèle simplifié

Les caractéristiques et équations classiques du moteur à courant continu permettent de compléter le modèle multiphysique du lève-vitre.

La simulation de la figure 8 compare l'évolution de la position de la vitre et de la vitesse du moteur selon trois cas sans obstacle : sans effort résistant, pour un effort résistant constant moyen et pour un effort résistant variable en fonction de la position de la vitre.

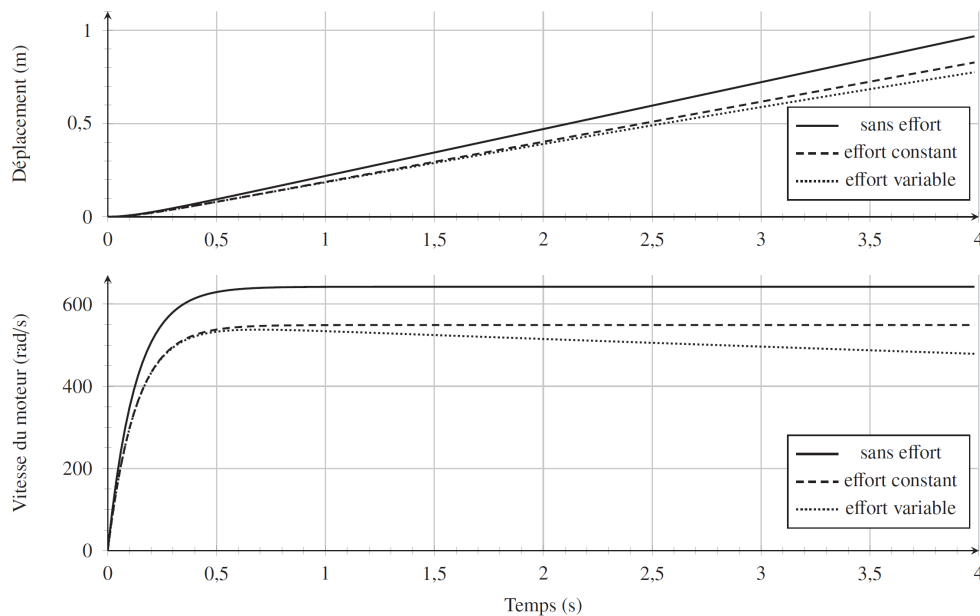


FIGURE 8 : Courbes de la position de la vitre et de la vitesse de rotation du moteur

Q5. Dans chacune des situations, relever le temps au bout duquel la vitre atteint la position maximale définie dans le diagramme des exigences. Commenter l'influence de l'effort résistant sur la vitesse en régime permanent et en régime transitoire. Justifier votre choix entre un modèle sans effort résistant et un modèle avec prise en compte de l'effort résistant.

Pour détecter un pincement, une solution envisagée est d'utiliser le courant dans le moteur et de repérer une variation de ce courant. La simulation multiphysique permet de calculer le courant dans le moteur dans le cas de la présence d'un obstacle ou non.

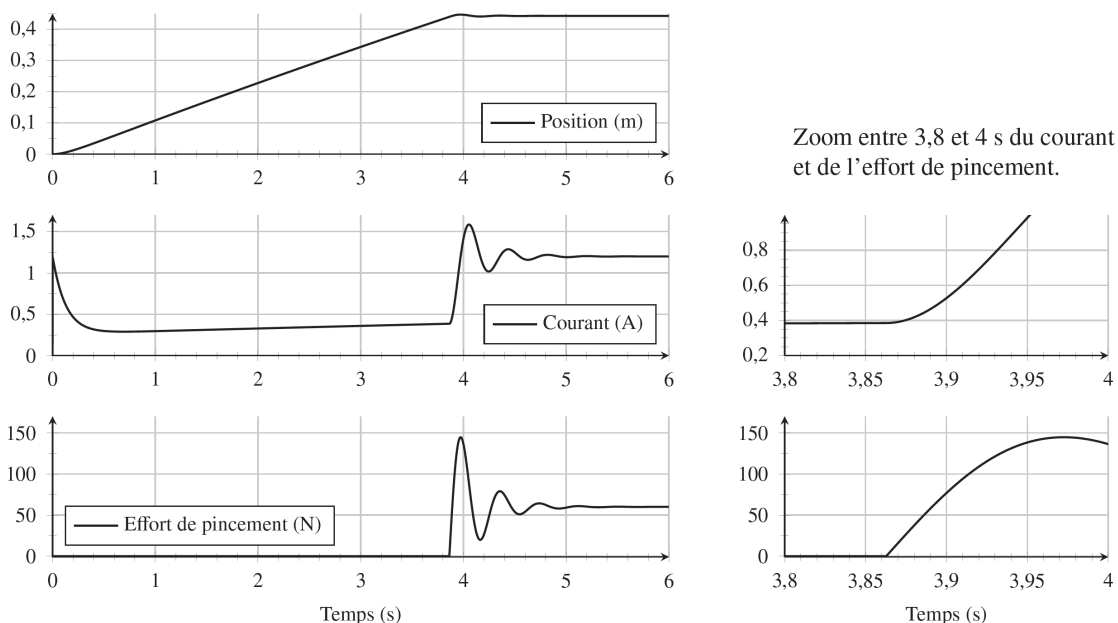


FIGURE 9 : Courbes de position de la vitre, d'intensité moteur et d'effort de pincement

Les courbes de la figure 9, ont été obtenues en prenant une raideur d'obstacle de 20 N/mm et correspondent à la position de la vitre en m, à l'intensité du moteur en A et à l'effort de pincement en N.

Q6. Déterminer l'intervalle de temps où l'effort est inférieur à la force maximale admissible donnée par la législation (diagramme des exigences de la figure 2). En déduire la variation de courant sur cet intervalle et la comparer à celle obtenue au démarrage. Conclure sur la fiabilité de la mesure de courant pour repérer précisément un obstacle.

II Commande tout ou rien

II.1 Mesure de la position de la vitre

La position de la vitre est détectée à l'aide de capteurs à effet Hall situés près du moteur (figure 10). Une roue magnétique possédant 2 paires de pôles Nord/Sud est solidaire de l'axe du rotor du moteur. Deux capteurs à effet Hall sont placés en quadrature et repèrent les changements de champ magnétique (fronts montants et descendants) de la roue en fonction de la rotation du moteur.

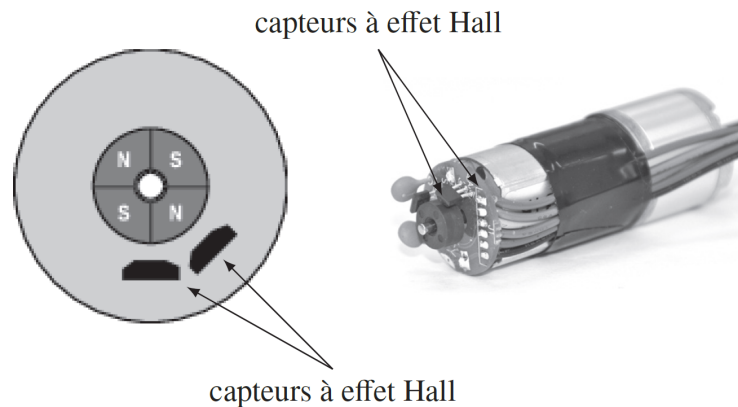


FIGURE 10 : Principe du capteur à effet Hall

Q7. Quels sont les intérêts d'utiliser deux capteurs à effet Hall placés en quadrature ?

Compte-tenu des capteurs utilisés, il est possible d'obtenir une précision de $1/8^e$ de tour du moteur.

Q8. Déterminer le plus petit déplacement de la vitre en mm qu'il est possible de mesurer avec ce capteur.

Q9. En prenant une raideur d'obstacle $k = 20 \text{ N/mm}$ correspondant à la dernière phalange de l'auriculaire, combien d'impulsions auront été comptées à partir du moment où la phalange commence à être écrasée jusqu'à ce que l'effort dans la phalange soit de 50 N (diagramme des exigences, figure 2) ? Commenter ce résultat.

II.2 Analyse de la qualité de la mesure de la vitesse

Pour détecter un obstacle, une solution envisagée est d'utiliser la mesure de la vitesse dont les variations sont plus grandes que celles du courant. La vitesse de rotation du moteur est tout d'abord calculée. Lorsque la variation de cette vitesse est supérieure à une valeur donnée, on indique qu'un obstacle est rencontré et le moteur est stoppé.

Les simulations de la partie précédente montrent qu'il faut détecter rapidement la variation de vitesse, ce qui impose de prendre une période d'échantillonnage de 10 ms au maximum. Ainsi, toutes les 10 ms , le programme va calculer la vitesse en prenant le nombre d'impulsions comptées depuis le dernier calcul et en le divisant par la période d'échantillonnage.

Q10. En supposant que le moteur tourne parfaitement à la vitesse nominale de 300 rad/s , déterminer le nombre d'impulsions moyen N_{moy} mesuré à chaque période d'échantillonnage.

Le nombre N réellement utilisé par le programme est un entier égal, soit à l'entier immédiatement inférieur à N_{moy} , soit à l'entier immédiatement supérieur. Par conséquent, il y a deux valeurs possibles pour la vitesse de rotation du moteur.

Q11. Déterminer les deux valeurs extrêmes de rotation du moteur en tours/min.

Q12. Conclure quant à la pertinence de l'utilisation de la variation de la vitesse pour obtenir un résultat fiable pour la détection. Au vu de la simulation de la figure 8, commenter également l'hypothèse de vitesse constante avant détection d'obstacle.

II.3 Mise en place de l'algorithme de commande

L'algorithme finalement mis en place se base sur la variation des temps mesurés entre deux impulsions successives. Après la détection d'une impulsion, un prédicteur temporel permet de déterminer le temps auquel la prochaine impulsion est attendue. Si la nouvelle impulsion intervient avant le temps prédit, alors il n'y a pas de blocage, sinon un blocage est détecté et une alarme est déclenchée.

En réalité, cette technique conduit à de fausses détections et une modification permettant d'améliorer la robustesse est de ne déclencher l'alarme qu'au bout de 3 dépassements du temps prédit.

Cet algorithme est résumé sur la figure 11 pour lequel :

- **appui bouton haut** est un évènement qui survient quand le bouton « monter la vitre » est actionné ;
- **M+** est la variable permettant de faire tourner le moteur dans le sens de la montée de la vitre, **M0** permet d'arrêter le moteur ;
- **impulsion** est un évènement qui survient à chaque nouvelle impulsion envoyée par les capteurs ;
- **fin course haut** est un évènement permettant de détecter l'arrivée en position haute de la vitre ;
- **prediction()** est une fonction qui renvoie le temps auquel la prochaine impulsion est attendue ;
- **alarme** permet d'activer l'alarme.

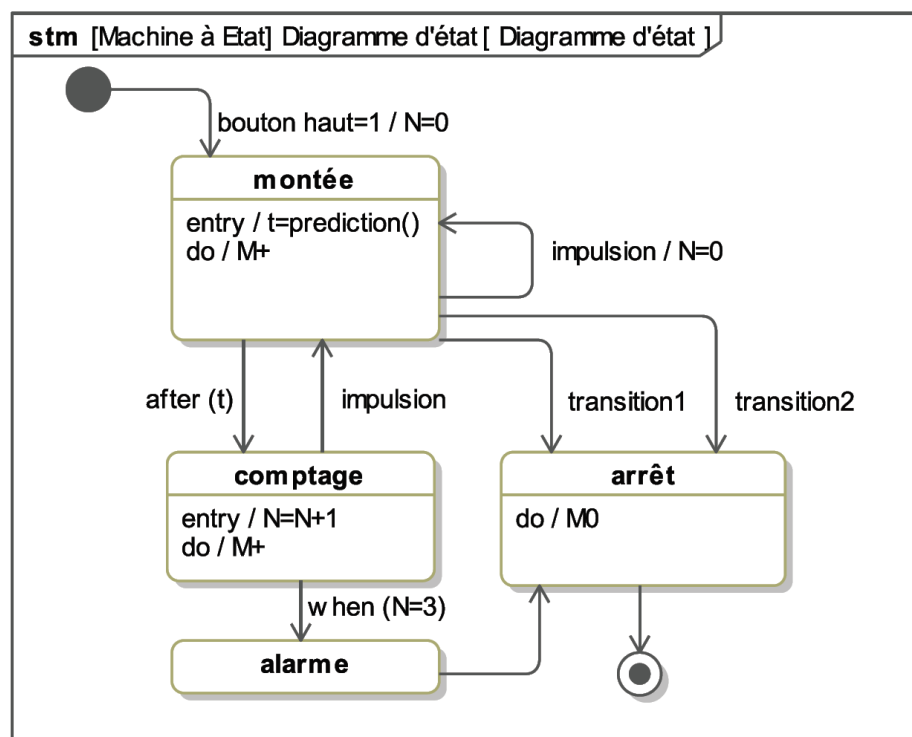


FIGURE 11 : Diagramme d'états de l'algorithme en version simplifiée

Q13. Donner l'expression des deux conditions notées « transition 1 » et « transition 2 » permettant de passer de l'état montée à l'état arrêt directement.

Q14. Compléter le chronogramme de la figure 12 en indiquant par des créneaux les durées pendant lesquelles un état est activé et l'évolution du contenu de la variable N . La durée de l'alarme et de l'arrêt est supposée très faible et sera représentée par un Dirac (une impulsion).

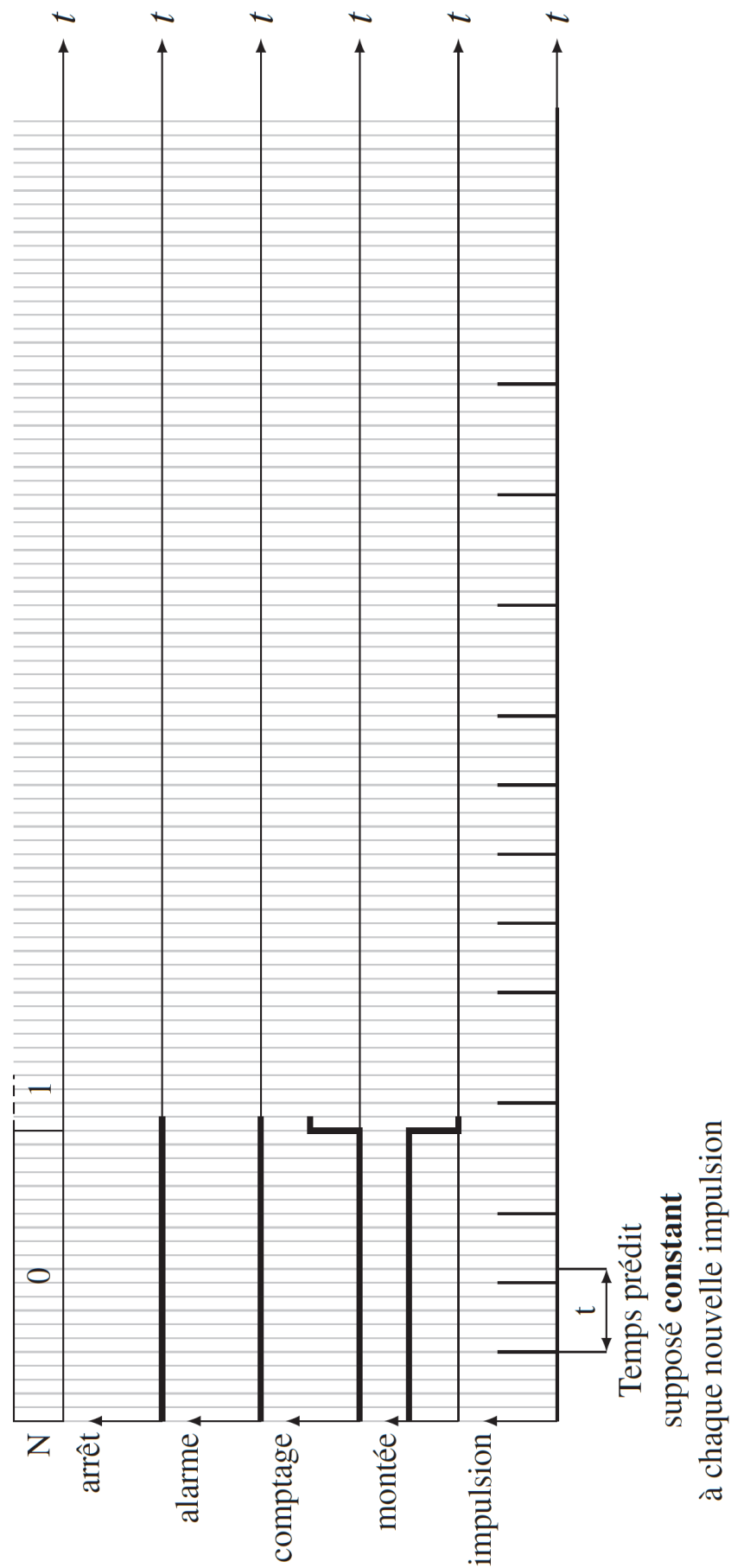


FIGURE 12 : Chronogramme à compléter