

**ENSTA
BRETAGNE**

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE TECHNIQUES
AVANCÉES BRETAGNE / NOBATEK

Caractérisation et finalisation d'un prototype de tracker solaire

UV 4.4 - Projet Industriel Mécanique

Élèves :

Romain DUPUIS
Antoine BERTRAND

Référent industriel :

Saed RAJI

Référents école :

Jean-François GUILLEMETTE
Nicolas DUFIL
Erwan TANNE

Date de remise : 24 avril 2024

Table des Matières

1	Introduction	3
1.1	Contexte du projet	3
1.2	Description du projet	4
1.3	Objectifs et résultats attendus	4
1.4	Planning prévisionnel	4
2	Rigidification du châssis	6
2.1	Étude du prototype existant	6
2.1.1	Étude vibratoire	6
2.2	Recherche de pistes d'améliorations	7
2.2.1	Les différentes solutions retenues	7
2.2.2	Étude cinématique de la solution retenue	8
2.2.3	Les problèmes de fixations vérin-panneaux	10
2.2.4	Étude vibratoire de la solution retenue	10
2.3	Impact du vent sur la structure	11
2.4	Modifications réalisées sur le prototype	12
3	Suivi et tracking du soleil	14
3.1	Conception et modélisation du capteur	14
3.1.1	Conception du boîtier photo-résistance	14
3.1.2	Traitement des valeurs des photo-résistances	15
3.2	Commande des actionneurs	17
3.2.1	Connections entre les actionneurs et le tracker	17
3.2.2	Algorithme de tracking du soleil	18
4	Production d'électricité avec le panneau solaire	19
4.1	Mesures expérimentales de puissance	19
4.1.1	Protocole de mesure	19
4.1.2	Difficultés à mesurer la puissance fournie	19
4.1.3	Exploitation des valeurs obtenues	20
4.2	Intérêts du tracker solaire par rapport à un panneau immobile	21
4.2.1	Puissance consommée par la partie commande	21
4.2.2	Importance de l'incidence des rayon du soleil	21
4.2.3	Puissance gagnée avec le tracker solaire	22
5	Conclusion	24
6	Annexes	25

Chapitre 1

Introduction

1.1 Contexte du projet

Nobatek, Institut National pour la Transition Energetique et environnementale du Bâtiment collabore avec ENSTA Bretagne dans le cadre d'un projet de collecteur solaire pour production d'eau chaude. A ce titre l'institut a souhaité étendre cet échange en confiant aux étudiants MECA de deuxième année la conception d'un système de tracking pour panneaux solaires et posé sur toiture plate. Le travail réalisé en UE3.4 puis en UE4.4 en 2022/2023 a permis d'identifier un concept d'architecture innovante qui a ensuite pu être concrétisé à travers la réalisation d'un prototype de tracker (cf. Figure 2). A la fin du projet, le pilotage automatique des mouvements du tracker a pu être validé à l'aide d'essais élémentaires permettant de qualifier ce prototype de "fonctionnel".



Figure 1.1: Prototype réalisé l'année précédente

1.2 Description du projet

Deux limites ont été identifiées à l'issue de ce projet : - aucun essai de production d'énergie n'a été réalisé, on ne peut donc pas conclure sur l'intérêt énergétique et économique du concept développé, - le châssis est "souple" et le risque d'exposer le prototype au vent paraît important.

Ce projet va donc comporter deux grandes parties. La première va consister à caractériser expérimentalement l'énergie qui peut être produite avec ce prototype afin de mettre en avant l'intérêt du tracking. La deuxième va porter sur la modélisation statique et dynamique du châssis afin de mieux comprendre son comportement et proposer des modifications à apporter pour raidir les pièces structurelles.

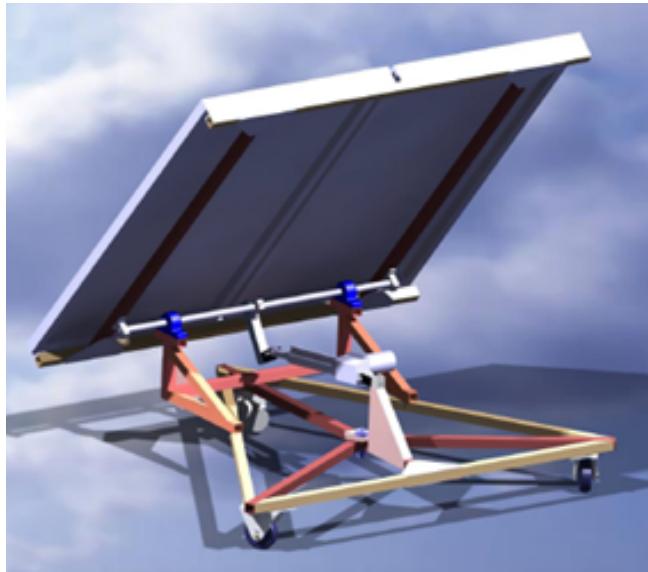


Figure 1.2: Maquette CAO du prototype

1.3 Objectifs et résultats attendus

Mise en place d'un protocole d'essais permettant de caractériser les performances du prototype fourni. Réalisation des essais dans des conditions d'éclairage différentes. Mesure des performances et de l'apport du mécanisme de tracking. Modélisation numérique du comportement statique et dynamique du châssis. Proposition d'amélioration du châssis actuel. Fabrication et mise en place des raidisseurs sur le prototype actuel. Validation de la résistance du prototype par la réalisation d'essais dans des conditions de vent représentatives des chargements appliqués. Rédaction d'un dossier de synthèse décrivant les performances énergétiques du prototype de tracker et apportant des éléments de preuve de sa résistance aux chargements liés au vent.

1.4 Planning prévisionnel

Afin de planifier au mieux le projet, nous avons établi un planning prévisionnel que nous avons rempli au fur et à mesure de l'avancement du projet. Cependant, nous avons été surpris par la durée de certaines tâches, et il a également été difficile de prévoir à l'avance toutes les tâches à réaliser. C'est pourquoi on peut observer sur le diagramme de Gantt que l'écart entre le réel et le prévisionnel s'agrandit au fur et à mesure que le projet avance. Nous avons également dû faire face à des imprévus tels que des coupures de courant nous empêchant de travailler sur le prototype, ou encore des manques d'outils et de temps de fabrication à l'atelier.

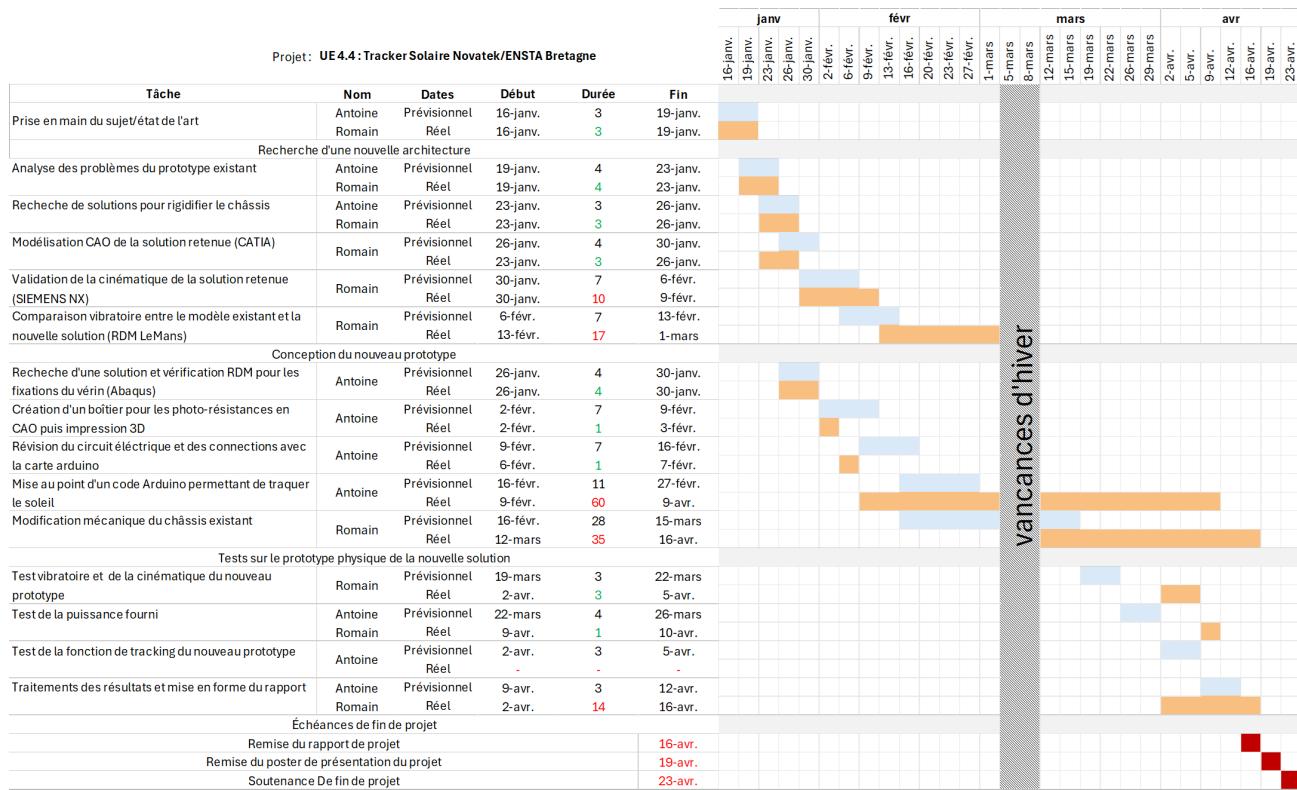


Figure 1.3: Diagramme de GANTT

Chapitre 2

Rigidification du châssis

2.1 Étude du prototype existant

Afin de caractériser les défauts actuels du châssis, la première étape a été de le modéliser numériquement, afin d'étudier ses différents modes vibratoires ainsi que son comportement en fonctionnement. Il est important de noter que nous avions des attentes pour les résultats de ces simulations vis à vis des observations que nous avons pu faire sur le modèle. En "bougeant" le châssis à la main, les modes les plus limitants étaient tout de suite visibles. Nous avons premièrement constaté que le point d'attache bas du vérin aux panneaux causait un problème de rigidité majeur quant au mouvement des panneaux autour de leur axe de pivot : Amplitude importante lorsque soumis à un effort faible et fréquence propre mesurée à 1,6 Hz. Il était donc évident que ce modèle ne pourrait pas être viable dans des conditions de vent de face pouvant atteindre 70 km/h. De plus en soumettant un effort "transversal" aux panneaux (effort suivant leur axe de pivot), nous avons constaté une déformation importante de la barre centrale de support des panneaux (celle attachée au sommet du triangle). Cette pièce subit donc des contraintes importantes.

2.1.1 Étude vibratoire

Pour confirmer nos observations sur la châssis, nous avons utilisé RDM Lemans Ossatures pour faire une analyse des modes propres. Nous avons tout d'abord relevé les coordonnées spatiales des différents noeuds de la structure à l'aide de la CAO du tracker. Pour la section des poutres, le profilé utilisé est de section carrée, 30x30mm et 2mm d'épaisseur en acier S235. De plus, le support des panneaux n'est fixé au châssis triangulaire que en un point (au niveau du sommet), nous ajoutons donc les relaxations pour les points où ce support est simplement posé sur le châssis. Il y a également des relaxations au niveau des pivots/rotules entre les panneaux, vérin et châssis. Pour les liaisons aux sol, elles sont ponctuelles aux 3 roues, et il y a une rotule au centre du châssis (point d'attache central) Enfin, nous rajoutons la masse des panneaux (12kg par panneau) en appliquant une masse répartie aux poutres qui représentent ces derniers.

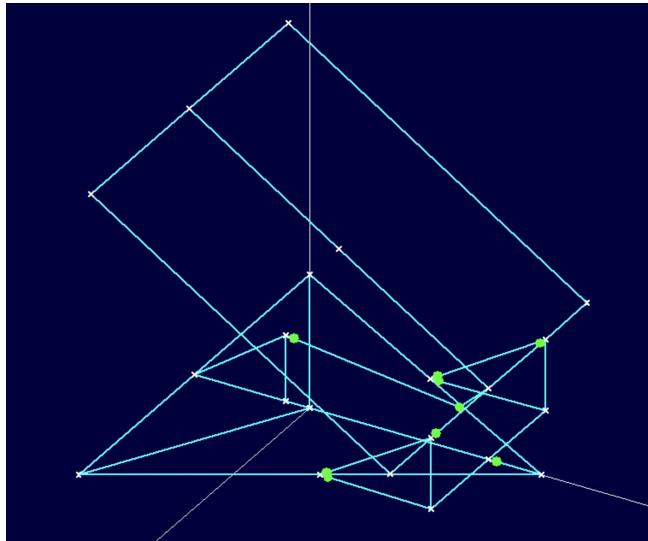


Figure 2.1: Modèle RDM de l'ancien châssis (relaxations en vert)

Avec cette modélisation, nous trouvons bien que les modes principaux sont les deux observés expérimentalement. En revanche, leurs fréquences propres se situent autour de 3,7 Hz (pour les 2 modes) ce qui est plus que sur le châssis réel. Nous pouvons critiquer ces résultats par quelques imprécisions dans la modélisation (dimensions et relaxations), le logiciel ne permettant que de représenter des structures simplifiées. Néanmoins, ces résultats sont tout de même intéressants car ils confirment les faiblesses que nous attendions. Nous allons nous en servir pour imaginer une structure plus rigide ce qui est un des attendus principaux de cette étude.

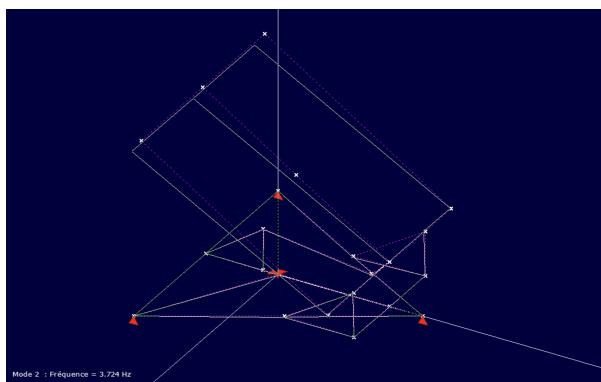


Figure 2.2: Premier mode propre

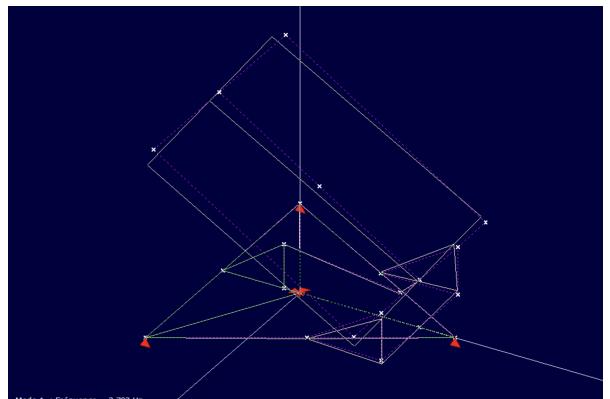


Figure 2.3: Second mode propre

2.2 Recherche de pistes d'améliorations

2.2.1 Les différentes solutions retenues

Nous avons relevé deux pistes d'amélioration pour ce tracker solaire : pour diminuer la souplesse transversale, effectuer une rotation de 180 deg du support des panneaux solaires par rapport châssis, et pour supprimer une souplesse longitudinale créer un point d'appui plus haut au milieu des panneaux solaire avec le vérin. Nous avons également gardé une optique de réutiliser le plus possible les pièces de l'architecture existante.

Ainsi la première solution que nous modéliser sur Catia pour observé le respect des conditions cinématiques (une inclinaison des panneaux de max 70 deg).

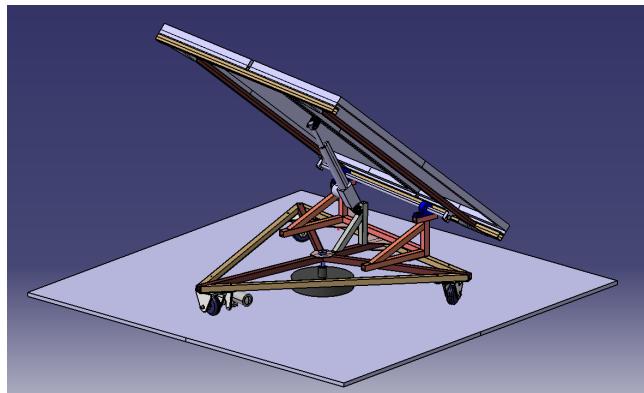


Figure 2.4: Maquette CAO de la première solution

Une deuxième solution a été mise en place permettant aux pivots entre le support des panneaux et le châssis d'être placées plus bas. Ainsi, cette solution serait plus compacte et le centre de gravité serait plus bas.

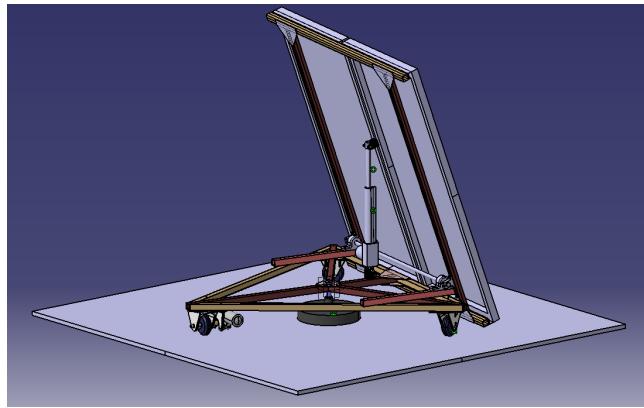


Figure 2.5: Maquette CAO de la seconde solution

Ainsi les panneaux se situeraient sur le côté opposé au moteur par rapport au châssis permettant de résister à la force du vent qui viendrait faire basculer le tracker solaire

2.2.2 Étude cinématique de la solution retenue

Afin de prévoir si notre nouvelle solution allait être viable, nous avons commencé par la simuler sur Siemens NX, pour obtenir plusieurs réponses :

- Étant donné le changement de position du vérin, il est primordial de vérifier que les efforts du vérin pour soulever les panneaux ne sont pas trop importants. Dans cette disposition, c'est en position basse qu'ils sont maximaux. Il faut également vérifier que la course de vérin nous permet d'atteindre les 70° d'inclinaison requis par le cahier des charges.
- Maintenant que le support des panneaux est situé de l'autre côté du châssis, il est naturel de prévoir que la tracker risque plus de basculer sur ses 2 roues sous l'effet d'un vent s'engouffrant derrière les panneaux. Bien sûr, il y a la rotule centrale qui est censée empêcher ce décollement, mais il faut éviter qu'elle subisse

des efforts trop importants, sachant qu'elle ne sera pas forcément implantées dans des fondations solides (ce tracker peut être installé dans un jardin, par exemple)

- Il faut également vérifier que le moteur faisant tourner la roue motrice produit un couple suffisant à faire tourner l'ensemble sans difficulté, étant donné le changement de répartition des masses.

La première étape a été d'importer le modèle CAO du tracker sur NX, et d'affecter les masses et matériaux aux différents éléments. Nous avons ensuite piloté la liaison pivot glissante du vérin pour simuler une levée complète des panneaux (de 0 à 70°). Nous obtenons le déplacement relatif total entre la tige et le corps du vérin sur la courbe ci-dessous. La course totale est de 200mm ce qui est inférieur à celle du vérin utilisé c'est à dire 250mm.

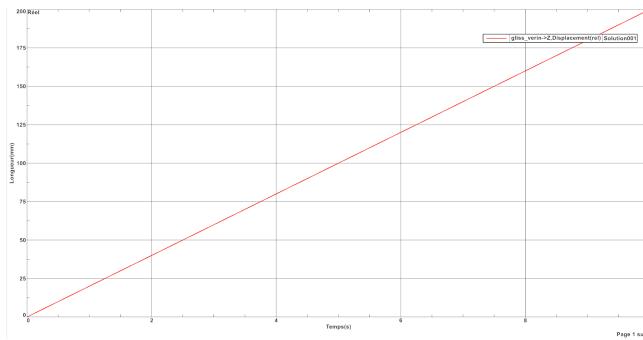


Figure 2.6: Déplacement relatif tige-vérin (commande linéaire)

Nous avons également mesuré l'effort dans le vérin nécessaire à soulever les panneaux. En appliquant également une force frontale correspondant à un vent de 70 km/h (au delà de cette vitesse, le panneau solaire reste à plat), nous obtenons la courbe de force suivant. On a en effet un effort maximal au début du mouvement, lorsque le vérin est proche d'être parallèle avec les panneaux. Cet effort vaut 2150N au démarrage, ce qui ne dépasse pas la capacité de charge maximale admissible de 6000N. Le vérin semble donc convenir à ce changement d'architecture.

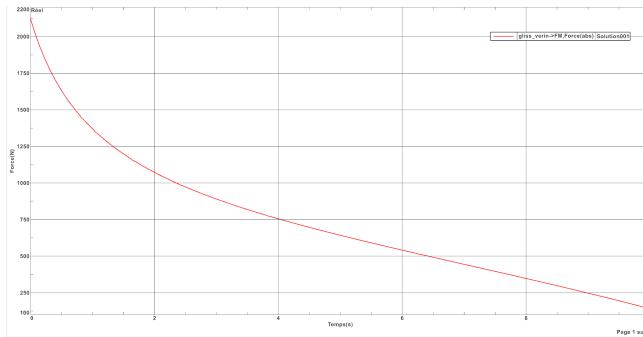


Figure 2.7: Déplacement relatif tige-vérin (commande linéaire)

Enfin, nous avons modélisé contact roue/sol à l'aide de l'option "Contact 3D" dans NX, ce qui semblait être la solution la plus cohérente, et permettait de rentrer des paramètres de frottement de Coulomb. Cependant, la simulation demandait également de rentrer des paramètres de raideur que nous ne connaissons pas, ce qui rend cette simulation plus critiquable que celle du vérin. L'objectif était d'obtenir un ordre de grandeur du couple moteur nécessaire à déplacer l'ensemble, après les modifications et le changement de répartition des masses. En pilotant la roue motrice en rotation, nous obtenons une simulation où le tracker tourne sur lui-même, ainsi qu'une courbe de couple (voir ci-dessous). Nous obtenons un couple maximal de 0,24 N.m ce qui est inférieur

aux 5 N.m annoncés par le fabricant. De plus, laisser le moteur à son emplacement actuel est bénéfique en terme de répartition des masses, car il peut servir de contrepoids au panneau tendant à faire basculer le tracker lorsqu'il est relevé.

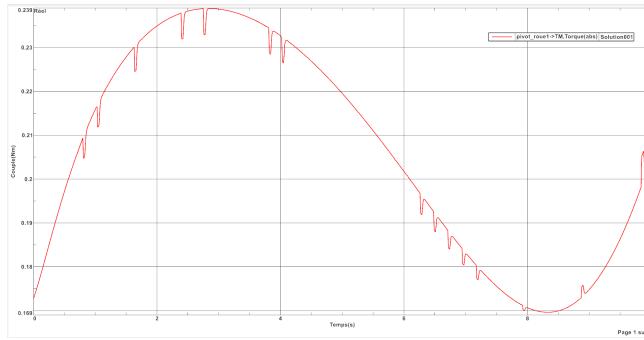


Figure 2.8: Couple moteur dans la roue motrice

2.2.3 Les problèmes de fixations vérin-panneaux

Pour la solution retenue, nous utilisons les fixations fournis avec le vérin qui se présentent sous forme de chape en U. Cependant, au vu de la direction dans laquelle la force s'applique par rapport à cette fixation, il semble nécessaire d'effectuer une étude nous permettant de déterminer le bon dimensionnement de cette dernière. Ainsi les études préalables nous ont permis de déterminer la force qui s'appliquait dans le vérin à tout instant. Dans le pire des cas (levé de vérin lorsque ce dernier est à l'horizontal), on applique une force de $F = 2150N$. Nous avons donc simulé en éléments finis les chapes du vérin existantes, afin de savoir si elle étaient adaptées au changement de géométrie, étant donné que ce sont les pièces qui sont soumises aux plus d'efforts. Nous appliquons donc un effort transversal au niveau du perçage, en encastrant la base et obtenons les résultats ci-dessous. La contrainte de Von Mises maximale dans la chape est de $\sigma = 1,6kPa$, nous pouvons donc valider la résistance de cette pièce.

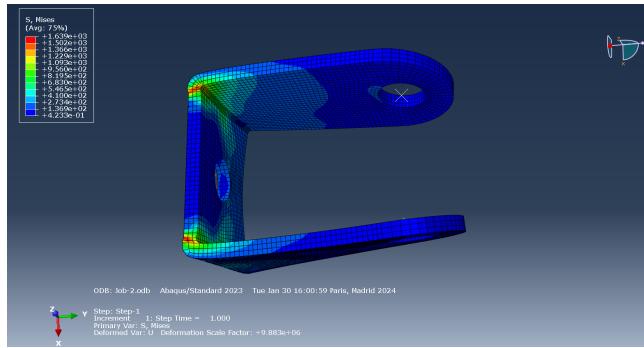


Figure 2.9: Contraintes de Von Mises dans la chape du vérin

2.2.4 Étude vibratoire de la solution retenue

Nous avons également, afin de confirmer nos prédictions, réalisé une analyse modale de la solution retenue pour le châssis. Nous nous attendions à une augmentation importante de la fréquence propre pour la rotation des panneaux autour de leur axe de pivot, en raison du point d'attache du vérin surélevé. Le mode observé en soumettant un effort "transversal", suivant l'axe de pivot des panneaux devrait être quasiment supprimé, maintenant que les supports des panneaux reposent sur un côté entier du triangle.

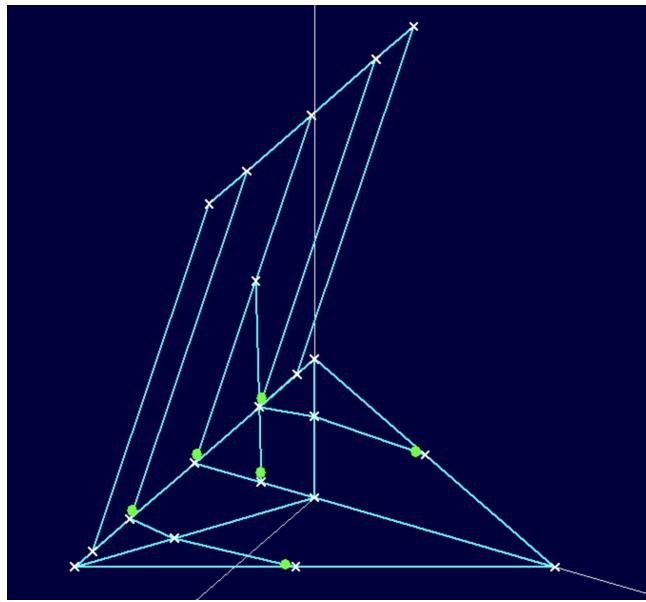


Figure 2.10: Modèle RDM de la nouvelle solution

Les deux modes propres principaux obtenus sont les mêmes que pour l'ancienne solution, mais leur fréquences propres passent à 6,6 Hz pour la rotation des panneaux et 9,2 Hz pour la sollicitation "transversal aux panneaux". On a donc une multiplication de la fréquence d'un facteur 2 et 3 pour les deux modes les plus problématiques de la structure.

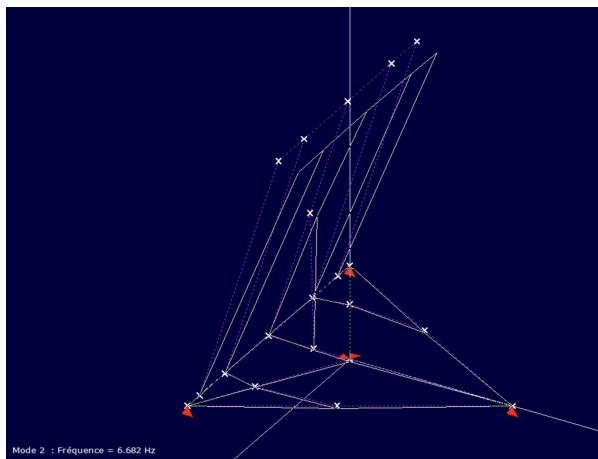


Figure 2.11: Premier mode propre

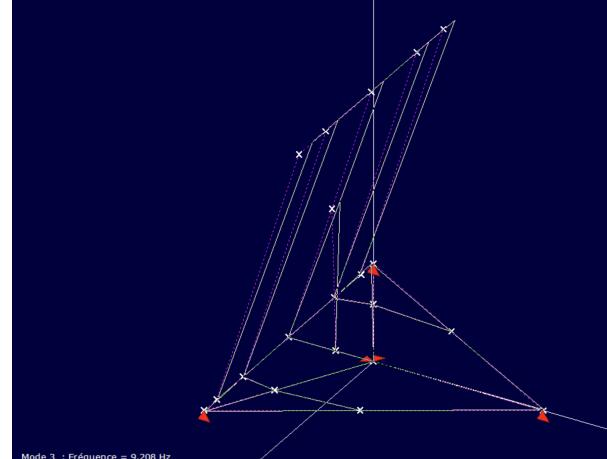


Figure 2.12: Second mode propre

2.3 Impact du vent sur la structure

Un dernier critère à vérifier avant de mettre en oeuvre la modification du châssis est le risque de basculement du panneau quand soumis à un vent à l'arrière du panneau. En effet, bien que la fixation centrale au sol l'en empêche en théorie, il est important qu'elle ne subisse pas d'efforts trop importants. Nous avons donc calculé

la pression résultante d'un vent de 70 km/h (vitesse maximale autorisée avant que le panneau s'abaisse) avec la formule : $P_{vent} = 0,613V^2$ avec V, la vitesse du vent en m/s. Nous avons donc appliqué une force résultante de direction horizontale à l'arrière des panneaux (en leur centre) sur la simulation NX. Avec un tel vent, le tracker ne bascule pas sur ses deux roues, ce qui valide le CdC. En revanche, avec un vent de 100 km/h, c'est le cas : il est donc important de replier les panneaux en cas de vent fort.

2.4 Modifications réalisées sur le prototype

Une fois les différentes simulations réalisées, nous sommes passés à la modification du châssis, le but étant de conserver le maximum de pièces possibles. La première étape a été de percer le châssis afin d'y fixer le support des panneaux. Nous avons vissé les 2 profilés en 3 points du châssis (sur 2 côtés du triangle et une des barres centrales) pour assurer une rigidité améliorée. En effet, le précédent support n'était fixé qu'en un point central au châssis, ce qui contribuait grandement à sa souplesse. L'étape suivante était de fixer le vérin au châssis, à son nouvel emplacement. Lorsque les panneaux sont à plat, le vérin est quasiment à l'horizontale, il semblait donc trop risqué de conserver la chape d'origine (fixée verticalement sur le châssis), qui subirait des contraintes trop importantes. Nous l'avons donc remplacé par une chape triangulaire (pour mieux résister aux efforts latéraux) que nous avons réalisé à l'aide de deux équerres triangulaires fixées de part et d'autre du profilé (voir photo)



Figure 2.13: Fixation du vérin au châssis

Ensuite, nous avons fixé le haut du vérin aux panneaux, pour cela la solution que avons choisie (non représentée sur la CAO) était de mettre une barre transversale entre les deux profilés verticaux de l'ensemble panneaux, et de fixer la chape sur cette barre. Une des difficultés rencontrées a été la hauteur de fixation de cette barre, que nous avions sous-estimé sur la CAO car la tige du vérin réel ne rentre pas complètement dans le corps comme nous l'avions prévu. Le panneau ne pouvait donc pas s'incliner à moins de 20 degrés en bout de course du vérin. Nous avons donc remonté la barre de fixation du vérin pour obtenir une cinématique respectant le cahier des charges.

Une fois le remontage terminé, nous avons pu faire des premières observations. Lorsqu'on remonte le panneau, le vérin ne semble pas trop forcer sur la chape supérieure, mais la remplacer par une chape similaire à l'autre pourrait être une piste d'amélioration, pour plus de fiabilité. De plus, en manipulant le tracker à la main nous pouvons voir qu'il a bien été rigidifié. Le mode "transversal" qui posait problème a bien été supprimé.



Figure 2.14: Tracker en position haute, 70°



Figure 2.15: Tracker en position basse, 5°

Chapitre 3

Suivi et tracking du soleil

3.1 Conception et modélisation du capteur

3.1.1 Conception du boîtier photo-résistance

Afin de suivre le soleil, le panneau est équipé d'un système de capteurs de luminosité. Ce dernier est composé de quatre photo-résistances séparées par une paroi en croix permettant, en comparant les valeurs de résistance entre elles, de connaître la position du capteur par rapport au soleil. Par exemple, si les deux photo-résistances de droite sont moins éclairées que celles de gauche, alors on sait que le soleil se trouve à droite par rapport au capteur et qu'une rotation du panneau dans le sens anti-horaire est nécessaire. Un prototype a été réalisé en carton pour s'assurer que ce système pouvait fonctionner. Après avoir vérifié que ce système fonctionnait bien, un modèle CAO a été mis en place pour pouvoir être imprimé en 3D.

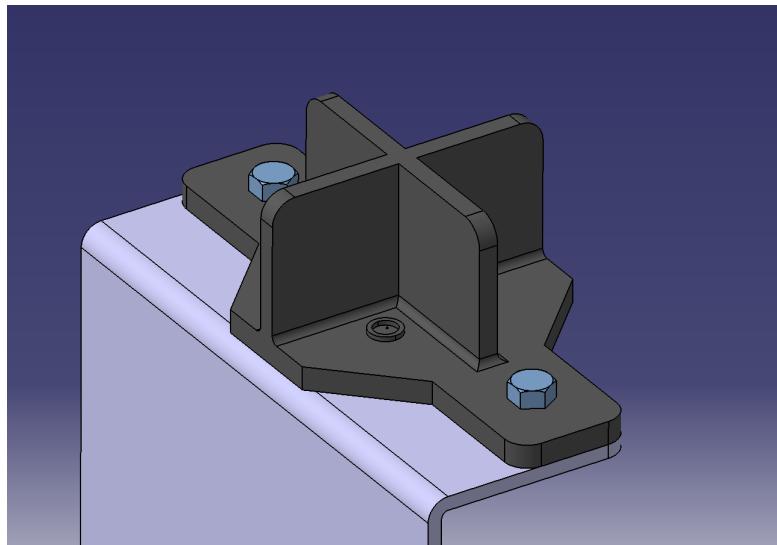


Figure 3.1: Maquette CAO du boîtier

Les dimensions pour ce boîtier ont été judicieusement choisies pour avoir un seuil maîtrisé à partir duquel un changement d'orientation par rapport au soleil peut être détecté. En effet, la distance de la photo-résistance à la paroi (en forme de croix) et la hauteur de la paroi permettent de connaître l'angle à partir duquel le capteur détecte un changement de luminosité (les rayons du soleil arrivant parallèlement les uns par rapport aux autres).

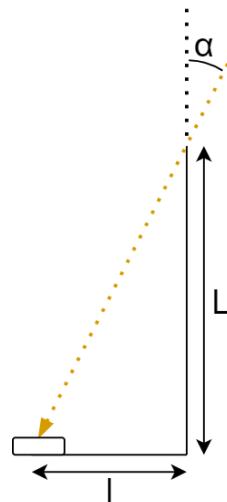


Figure 3.2: Maquette CAO du boîtier

Ainsi, il est simple d'obtenir l'angle à partir duquel le capteur détectera un changement : $\alpha = \arctan\left(\frac{l}{L}\right)$. Nous voulons réaliser un seuil de $\alpha = 15^\circ$. Pour cela, nous avons choisi $l = 8\text{ mm}$ et $L = 30\text{ mm}$. En effet, cet angle a pu être choisi après les différents tests avec les prototypes en carton. Ce résultat nous permet, dans le code Arduino, de définir un seuil à partir duquel on peut dire que le capteur, donc les panneaux, est en face du soleil.

3.1.2 Traitement des valeurs des photo-résistances

Concernant la gestion des données des photo-résistances, nous utilisons la carte Arduino Every Nano déjà présente sur le prototype. La première étape consiste à récupérer les valeurs des quatre résistances du boîtier. Pour cela, nous utilisons un montage classique avec des résistances en parallèle des photo-résistances.

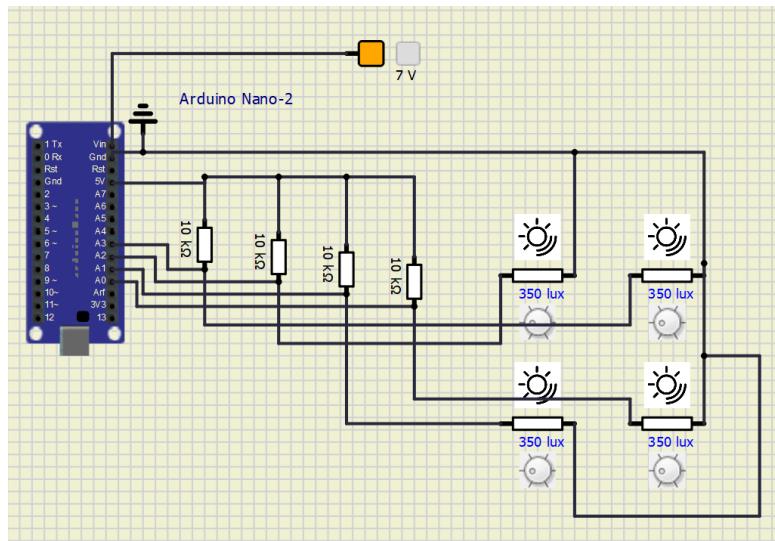


Figure 3.3: Circuit (SimulIDE) du montage des photo-résistances

Ainsi, les valeurs obtenues pour chacune des photo-résistances sont sous forme de valeurs numériques comprises entre 0 et 1024. Afin de vérifier si ces dernières peuvent être utilisées directement ou si elles sont trop bruitées et doivent être filtrées, la réalisation sous Python d'un datalogger nous permet d'analyser ce que voit la carte Arduino. Les photo-résistances sont réparties de la façon suivante :

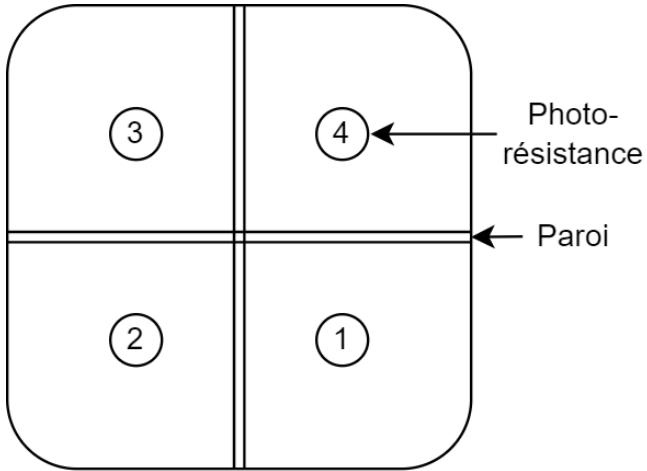


Figure 3.4: Circuit (SimulIDE) du montage des photo-résistances

Ainsi, on a pu voir que les valeurs sont assez stables pour être utilisées directement sans filtrage. Cependant, pour être le plus précis possible sous Arduino et déterminer les seuils à utiliser, le code se fera de la façon suivante en séparant la comparaison droite-gauche et haut-bas :

Algorithm 1: Comparaisons des capteurs

Tâche : Déterminer la position de la source lumineuse par rapport au capteur

Entrée : Valeurs des quatre photo-résistances

Sortie : Direction de la source lumineuse par rapport au capteur

Algo :

- Moyenne des deux capteurs de gauche (4&1)
 - Moyenne des deux capteurs de droite (3&2)
 - Comparaison entre ces deux moyennes
 - Mêmes étapes pour les capteurs hauts et bas
-

Donc, en effectuant quelques tests avec le code Python, nous pouvons constater que sur 20 secondes, les valeurs des quatre photo-résistances sont plutôt stables, cependant une (celle en bas à droite) semble diverger. Cela vient probablement d'un dysfonctionnement et il serait préférable de la remplacer.

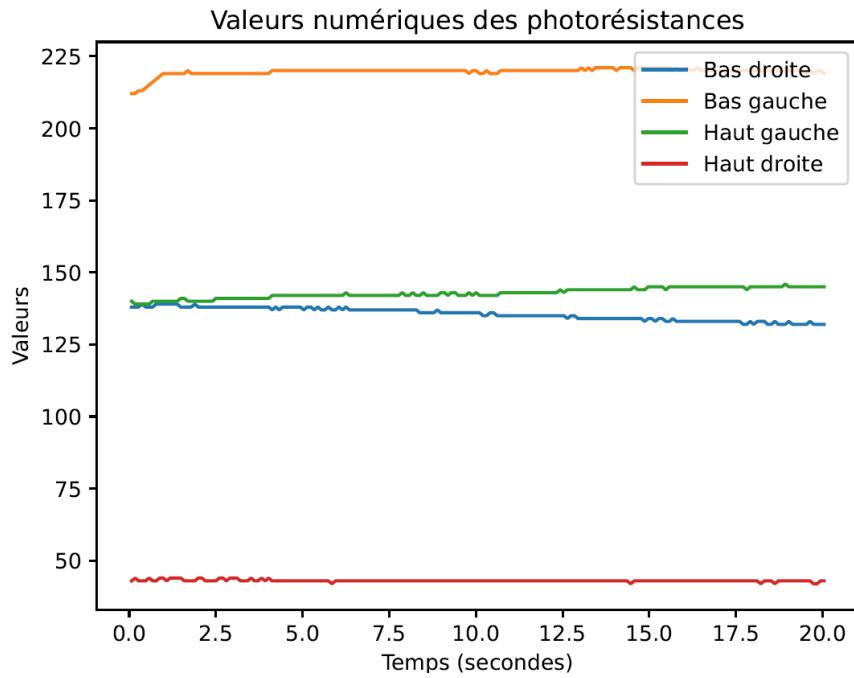


Figure 3.5: Valeurs numériques des photo-résistances

On peut également observer le comportement des photo-résistances lors d'un test où on les éclaire en changeant l'angle que fait la source lumineuse avec le capteur.

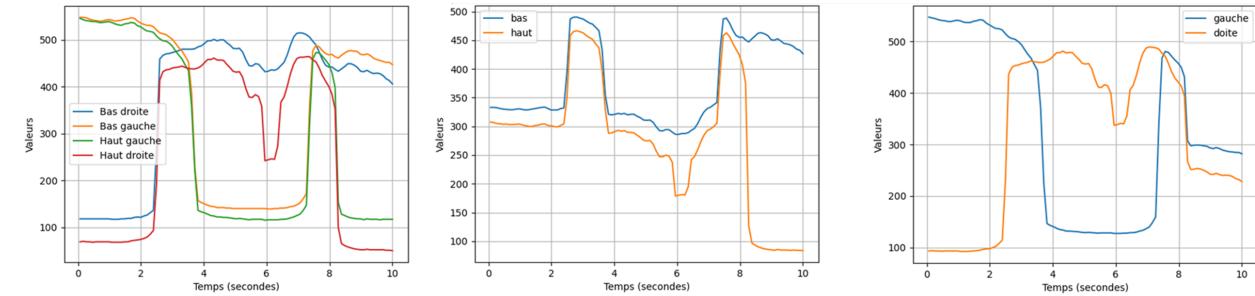


Figure 3.6: Valeurs numériques des photo-résistances avec une source lumineuse qui se déplace

3.2 Commande des actionneurs

3.2.1 Connections entre les actionneurs et le tracker

Pour commander les actionneurs, nous utilisons la même architecture que le prototype existant, c'est-à-dire que la carte Arduino Nano va commander en PWM deux demi-ponts en H, l'un relié au moteur de la roue et l'autre au vérin, le tout alimenté par un courant 12V stabilisé.

3.2.2 Algorithme de tracking du soleil

Pour faire fonctionner le tracker de la manière la plus optimisée possible, nous avons revu complètement ce qui avait été fait l'année précédente. En effet, le code existant exigeait que le panneau s'adapte en permanence, consommant par conséquent beaucoup d'énergie. De plus, un problème qui pouvait survenir est que si le panneau fait dos au soleil, il n'a plus de source de luminosité pour se guider.

Ainsi, pour remédier à ces problèmes, le code suivant peut être décrit de la manière suivante :

Algorithm 2: Code tracker panneaux solaire

Tâche : Orienter les panneaux solaires pour qu'ils fassent faces au soleil

Entrée : Valeurs des quatre photo-résistances

Sortie : Déplacement des actionneurs (vérin-moteur)

Algo :

- Si la valeurs de photo-résistances trop basses :
 - Active le moteur pour tourner et trouver un maximum de luminosité
- Sinon :
 - Tant que les photo-résistances de gauche sont différentes de celles de droites
 - Actionne le moteurs
 - Tant que les photo-résistances de haut sont différentes de celles du bas
 - Actionne le vérin
 - delay(15 mins)

En procédant ainsi, on ne perd jamais la source lumineuse car sinon le tracker se met en mode recherche. De plus, le tracker ne se met en route que toutes les 15 minutes pour éviter de consommer trop d'énergie, sachant que le soleil ne demande pas une adaptation trop fréquente. Cependant, il pourrait être envisageable de régler ce délai en fonction de l'heure de la journée, car le soleil change plus vite de position le matin et le soir que pendant le midi.

Un autre point qui n'a pas été pris en compte lors de l'écriture du code est le fait que si le panneau est relié à un câble à l'installation, il ne faut pas que le tracker fasse plus de 360° sur lui-même sous peine d'arracher le câble.

Chapitre 4

Production d'électricité avec le panneau solaire

4.1 Mesures expérimentales de puissance

4.1.1 Protocole de mesure

Afin de réaliser nos tests, nous avons procédé de la façon suivante : Nous avons branché les panneaux solaires en parallèle d'une batterie déchargée de 12 V en passant par le module de régulation fourni avec les panneaux solaires. Ainsi, pour connaître la puissance que pouvait fournir le système, nous avons utilisé une pince ampermétrique. En utilisant la formule $P = U * I$, nous obtenons la puissance à un instant donné.

Le but de cette expérience était de montrer l'influence du tracking solaire par rapport à un panneau solaire immobile classique. Cependant, pour ce faire, il aurait fallu pouvoir comparer les deux dans les mêmes conditions pendant un cycle entier, ce qui n'était pas possible car nous disposions que d'un panneau solaire.

Alors, nous avons décidé de mesurer l'influence de l'angle d'inclinaison des rayons du soleil par rapport aux panneaux solaires sur la puissance que ces derniers fournissaient. Ainsi, nous pourrions calculer l'influence directe du tracking.

4.1.2 Difficultés à mesurer la puissance fournie

Lors de nos tests, nous nous sommes heurtés à des problèmes, certains plus contraignants que d'autres. Premièrement, l'instabilité du temps et de la météo rend très compliquée la mesure de puissance. En effet, les résultats de ces expériences doivent être comparés entre eux ; cependant, si les conditions ne sont pas les mêmes (nuages modifiant l'intensité lumineuse perçue), il est impossible d'avoir des comparaisons pertinentes.

Une autre difficulté qui est survenue, et qui était inattendue, est le fait que la batterie se chargeait trop vite, ce qui rendait la mesure de l'intensité impossible. Afin de pallier à ce problème, nous avons mis en parallèle de cette dernière plusieurs dipôles (lampe halogène, moteur, résistance, etc.) ayant pour but de consommer l'énergie de la batterie. Cependant, il fallait attendre que la batterie se décharge entre chaque mesure, limitant fortement le nombre de mesures que nous pouvions prendre.



Figure 4.1: Essais énergétiques des panneaux

4.1.3 Exploitation des valeurs obtenues

Nous avons donc pu obtenir différentes valeurs de puissance pour plusieurs angles d'inclinaison des panneaux. Il peut être intéressant, dans un premier temps, de comparer ces résultats à ceux fournis par le constructeur. Pour mesurer l'angle entre les rayons incidents du soleil et le panneau, nous utilisons un objet de taille connue et mesurons la taille de son ombre, donnant ainsi une relation de trigonométrie pour obtenir l'angle incident. Nous devons également prendre en compte que les tests sont effectués le 16 avril 2024 à 11h24, ce qui est différent de les faire en plein été. Nous ne nous attendons donc pas à obtenir 2x170 Watt (la puissance fournie par les panneaux solaires), mais une valeur bien inférieure. Nous prendrons donc la valeur de puissance où les rayons arrivent perpendiculairement aux panneaux comme référence pour calculer les rendements. (Nous utiliserons comme valeurs théoriques celles trouvées sur le site <https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/>)

Angle	Intensité	Tension	Puissance	rendement exp
0°	10,15 A	22,26 V	225,939 W	100,0 %
10°	9,95 A	22,3 V	221,885 W	98,2 %
20°	9,83 A	21,33 V	209,6739 W	92,8 %
45°	7,83 A	21,06 V	164,8998 W	73,0 %
60°	5,6 A	21,54 V	120,624 W	53,4 %
75°	2,5 A	17 V	42,5 W	18,8 %

Figure 4.2: Puissance fournie par les panneaux en fonction de l'angle incident des rayons du soleil

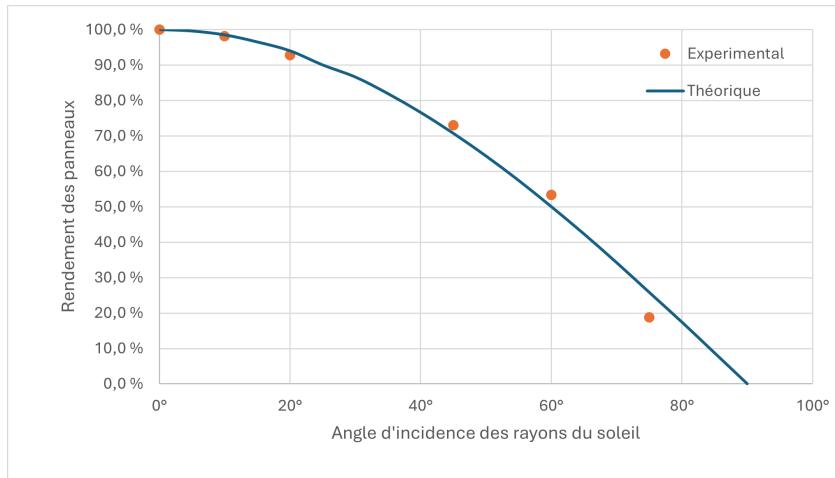


Figure 4.3: Rendement des panneaux solaires en fonction de l'angle d'incidence des rayons du soleil

4.2 Intérêts du tracker solaire par rapport à un panneau immobile

4.2.1 Puissance consommée par la partie commande

On peut considérer un cycle de 6h à 21h. Dans une version simplifiée, on modifie la position du tracker toutes les 15 minutes (il est également imaginable de modifier la position de façon à des pas de temps non constants pour gagner en ensoleillement lorsque l'angle d'incidence des rayons a le plus d'influence). Pour avoir une estimation, on se place dans le pire des cas où le moteur de la roue et le vérin fonctionnent à pleine puissance pendant un changement de position d'une durée de 10s (durée mesurée expérimentalement). De plus, nous pouvons prendre en compte le fait que la carte Arduino est en permanence alimentée donc consomme également de l'énergie. Ainsi, on confirme bien que la partie commande consomme très peu devant ce que les panneaux fournissent (340 kWh théoriquement).

Composant	Intensité	Tension	Puissance	Durée d'utilisation sur une 1h	Energie
Moteur	12 A	12 V	144 W	40 s	1,60 kWh
Vérin	4 A	12 V	48 W	40 s	0,53 kWh
Arduino Nano Every	0,05 A	12 V	0,6 W	3600 s	0,60 kWh
Energie consommée par la partie commande					2,73 kWh

Figure 4.4: Énergie consommée par la partie commande du tracker solaire

4.2.2 Importance de l'incidence des rayon du soleil

Pour faire la comparaison avec un panneau solaire immobile, on considère d'abord qu'il est bien orienté par rapport au plan dans lequel évolue le soleil. Ainsi, seulement l'angle d'incidence des rayons (ici l'orientation Est - Sud - Ouest) a une influence. On se place également dans un pays de l'hémisphère nord comme la France, mais évidemment les valeurs d'angle peuvent changer selon l'emplacement sur le globe.

On peut donc voir la différence sur un cycle de 6h à 21h avec les valeurs obtenues précédemment, entre un panneau faisant toujours face au soleil et un panneau immobile où les angles incidents des rayons changent au cours de la journée. Le soleil change d'angle au cours de la journée. Ici, la valeur de référence du rendement est calculée par rapport à ce que le soleil fournit lorsqu'il est parfaitement aligné avec le panneau.

Ainsi, théoriquement, on est censé observer la différence suivante en fonction de l'angle incident.

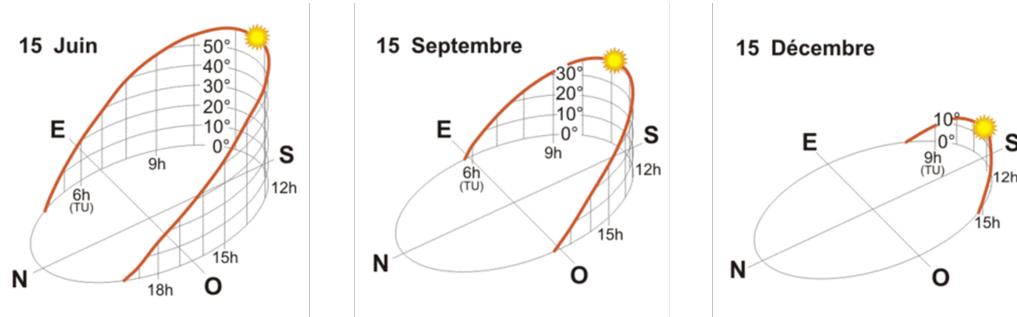


Figure 4.5: Inclinaison du soleil avec l'horizon

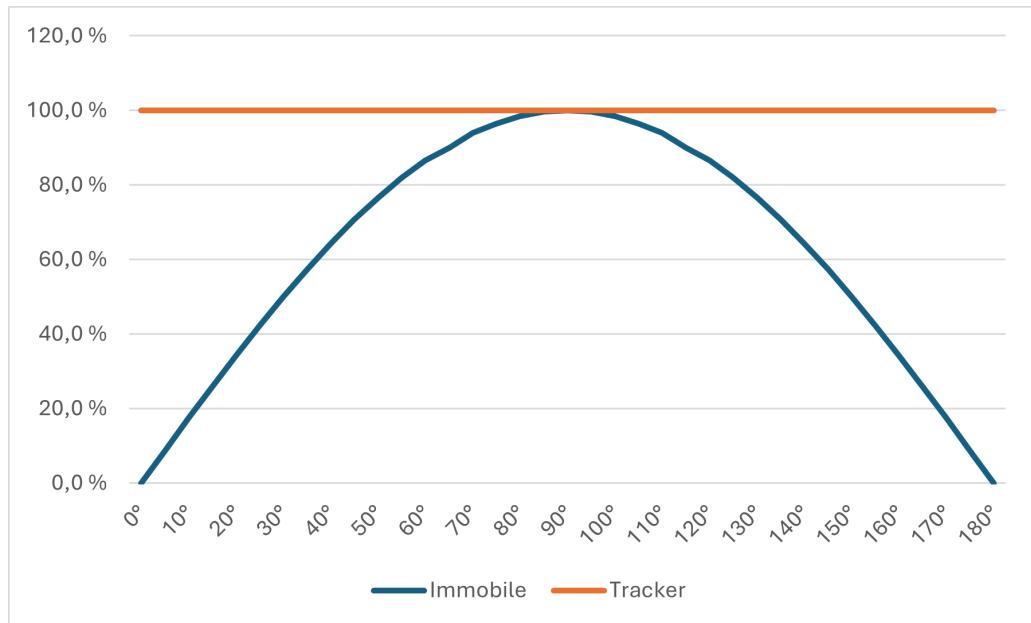


Figure 4.6: Rendement en fonction de l'incidence des rayons lumineux

4.2.3 Puissance gagnée avec le tracker solaire

Pour connaître le gain réel, il est possible d'obtenir l'angle que fait le soleil avec le panneau selon l'heure de la journée lors d'un cycle complet de 6h à 21h (pour un mois de juin, par exemple). Ainsi, il est possible d'obtenir un graphe représentant le rendement des panneaux solaires en fonction de l'heure de la journée.

En calculant l'aire sous la courbe et en la multipliant par la puissance fournie par le panneau solaire (340 W en été), nous trouvons une production de 3113 kWh pour un panneau fixe contre 4896 kWh pour un panneau tracker, ce qui représente une augmentation de 36,4 %. Il s'agit ainsi des ordres de grandeur que l'on peut retrouver chez les constructeurs de panneaux solaires. Il faut également souligner que sur un cycle, la partie commandée ne consomme $(6 - 21) * 2,73 = 40.95kWh$, ce qui est négligeable au vu du gain de production.

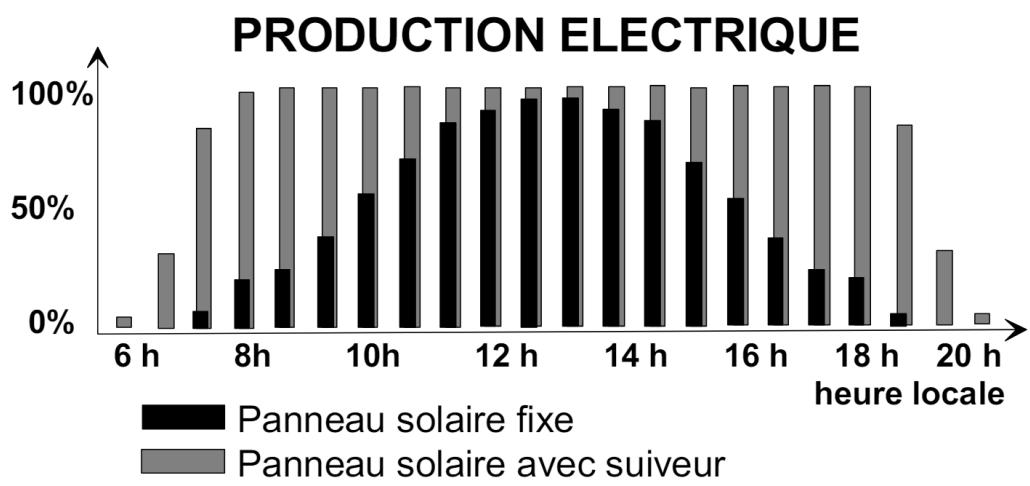


Figure 4.7: Rendement en fonction de l'heure de la journée <http://profge.free.fr/sujets/SSI/EST/SSI2008-trajectoire-panneau-solaire.pdf>

Chapitre 5

Conclusion

Il est clair que le suivi du soleil représente un gain de production non négligeable pour les panneaux solaires. Cependant, mettre au point ce système peut s'avérer assez complexe. En effet, si la solution que l'on a abordée a permis de rigidifier le châssis, c'est parce qu'elle a simplifié le prototype existant, en retirant des éléments et en simplifiant la façon dont les actionneurs mettaient en mouvement la structure. Ainsi, en réutilisant des éléments déjà existants, nous avons pu montrer qu'il était possible de rendre ce prototype fonctionnel d'un point de vue mécanique en atténuant les vibrations. Concernant le système de tracking, ce dernier présente de nombreuses voies d'amélioration, car seulement testé dans des conditions de "laboratoire", ne permettant pas de le valider dans des conditions environnementales où des perturbations comme des nuages peuvent perturber son bon fonctionnement. Enfin, même si les calculs de comparaison entre le panneau solaire fixe et le tracker ne prennent pas en compte tous les détails pour être parfaits, ils nous donnent une bonne approximation de la performance du tracker solaire.

Chapitre 6

Annexes



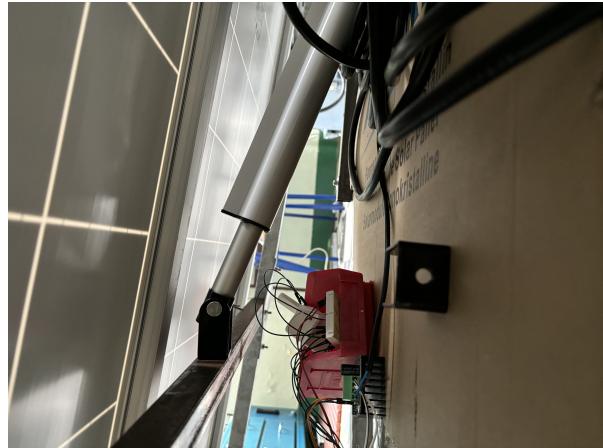


Figure 6.1: Photos du tracker