



Amélioration du saut d'un drone terrestre

Analyse, modélisation comportementale et expérimentation

Projet ou Activité de terminale
Spécialité SI



Objectifs et problématique

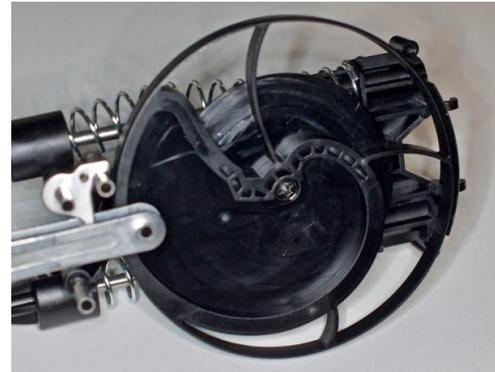
- On se propose ici de **concevoir un modèle multiphysique du système permettant au drone terrestre d'effectuer son saut.**
- Ce modèle sera progressivement affiné à l'aide d'analyses théoriques et de **mises en place d'expérimentations permettant de le nourrir et de valider sa pertinence.**
- Enfin, on se propose d'exploiter le modèle obtenu afin de **proposer une solution visant l'amélioration des performances du saut (+10% sur la longueur du saut).**

Le support : Drone terrestre

- Le drone terrestre, support de l'étude, est **capable d'effectuer des sauts** :

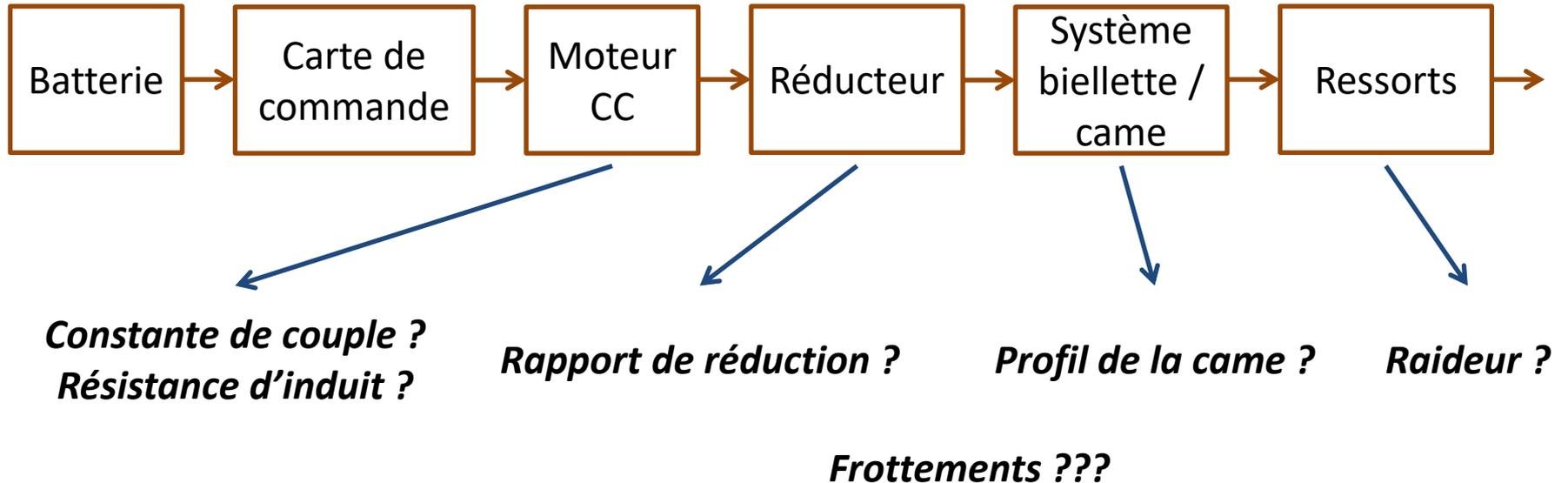


- Le drone intègre un système lui permettant d'effectuer son saut : **moteur / réducteur / came / bielle / ressorts / ...**



Le système de saut : Schéma fonctionnel

- Le système de saut est composé des éléments ci-dessous. Pour concevoir le modèle multiphysique associé il convient de **déterminer les paramètres associés à chacun des éléments** :



Expérimentation : Moteur CC

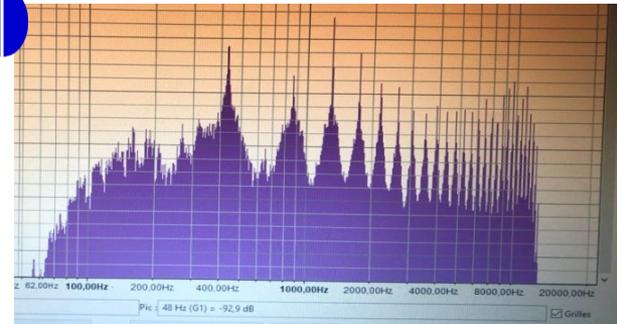
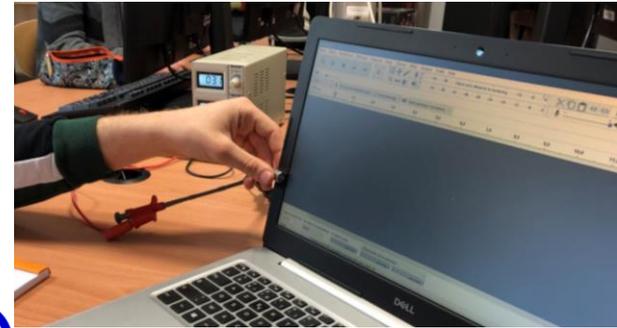
- On se propose de **déterminer expérimentalement les valeurs** suivantes **associées au moteur** pour nourrir le modèle :

Constante de couple = ?

Résistance d'induit = ?

- Mesures :

- Tension / Courant / Résistance
- **Mise en place d'une méthode acoustique,** du fait de la petitesse du moteur, **pour mesurer la vitesse de rotation du moteur.**



Expérimentation : Moteur CC

- On se propose de **déterminer expérimentalement les valeurs** suivantes **associées au moteur** pour nourrir le modèle :

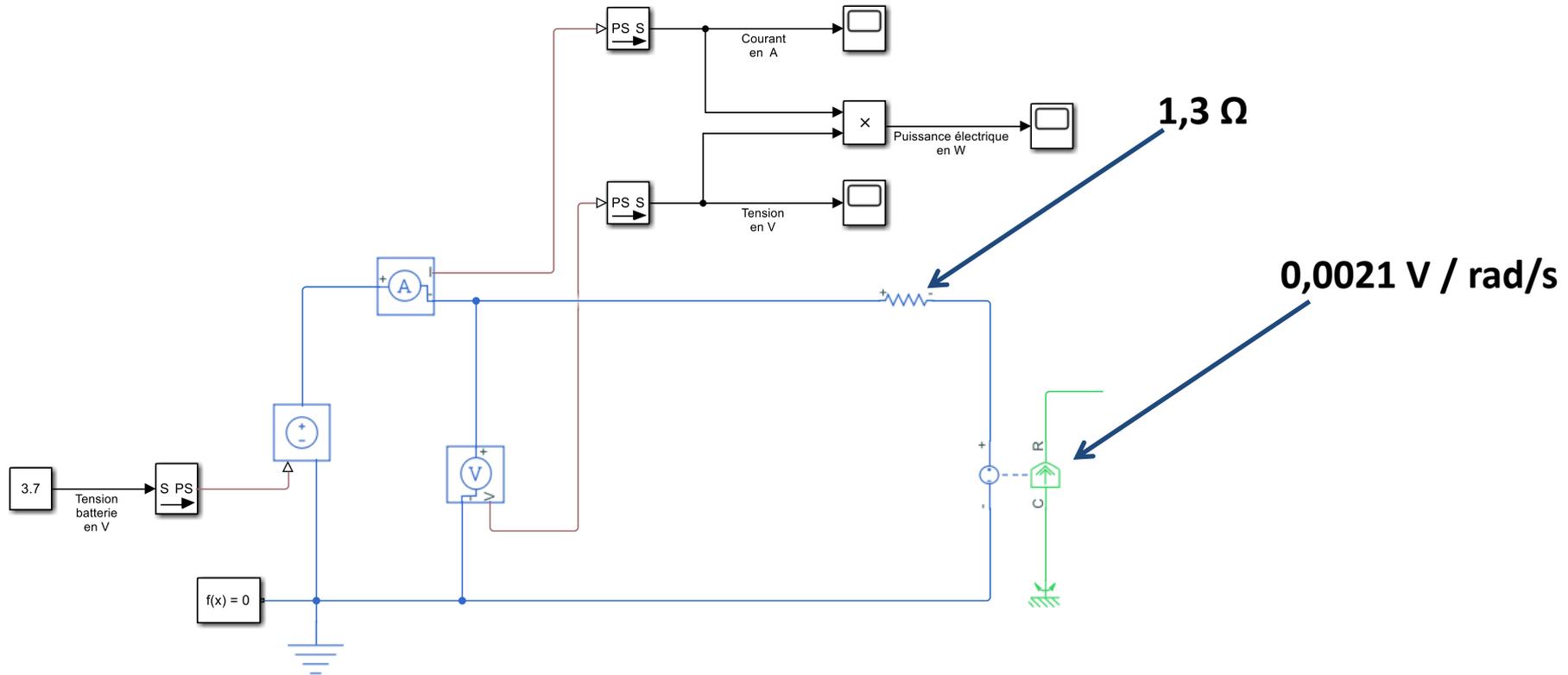
*Constante de couple = **0,0021 Nm/A***

*Résistance d'induit = **1,3 Ω***

	Mesuree	Mesuree	Mesuree	Deduite	Deduite	Mesuree	Deduite	Deduite	Deduite
	U	Imes	F	Nmes	Ω_{mes}	Rinduit	E	K	C
1	1	0,2	92	5520	578,053048	1,3	0,74	0,00128016	0,00025603
2	1,3	0,2	104	6240	653,451272	1,3	1,04	0,00159155	0,00031831
3	1,6	0,22	112	6720	703,716754	1,3	1,314	0,00186723	0,00041079
4	1,9	0,23	124	7440	779,114978	1,3	1,601	0,0020549	0,00047263
5	2,2	0,24	136	8160	854,513202	1,3	1,888	0,00220945	0,00053027
6	2,5	0,26	155	9300	973,893723	1,3	2,162	0,00221995	0,00057719
7	2,8	0,27	163	9780	1024,15921	1,3	2,449	0,00239123	0,00064563
8	3,1	0,27	178	10680	1118,40698	1,3	2,749	0,00245796	0,00066365
9	3,4	0,28	185	11100	1162,38928	1,3	3,036	0,00261186	0,00073132
10	3,7	0,31	220	13200	1382,30077	1,3	3,297	0,00238515	0,0007394
Unite	V	A	Hz	Tr/min	rad/s	Ω	V	V/(Tr/min)	Nm

Modélisation : Moteur CC

- Il est alors possible de **compléter le modèle** :



Analyse : Rapport de réduction

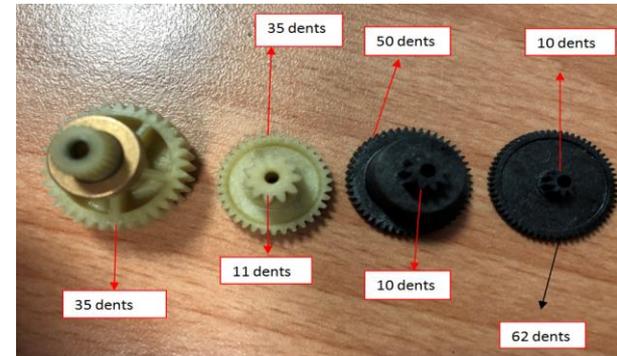
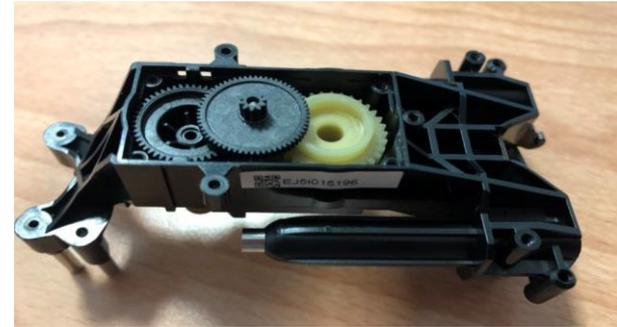
- On se propose de **déterminer la valeur du rapport de réduction du réducteur** afin de nourrir le modèle :

Rapport de réduction = ?

- Démontage et calculs :

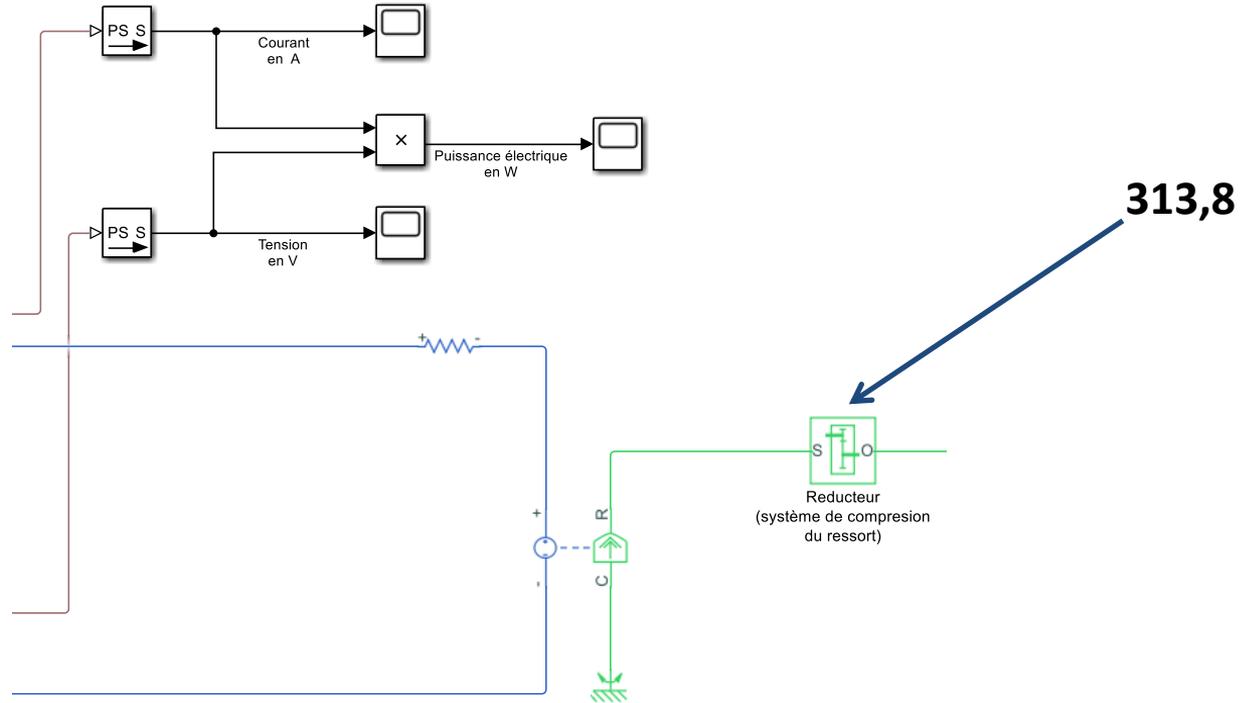
$$\frac{62 \times 50 \times 35 \times 35}{11 \times 10 \times 10 \times 11} = 313,8$$

Rapport de réduction = 1/313,8



Modélisation : Rapport de réduction

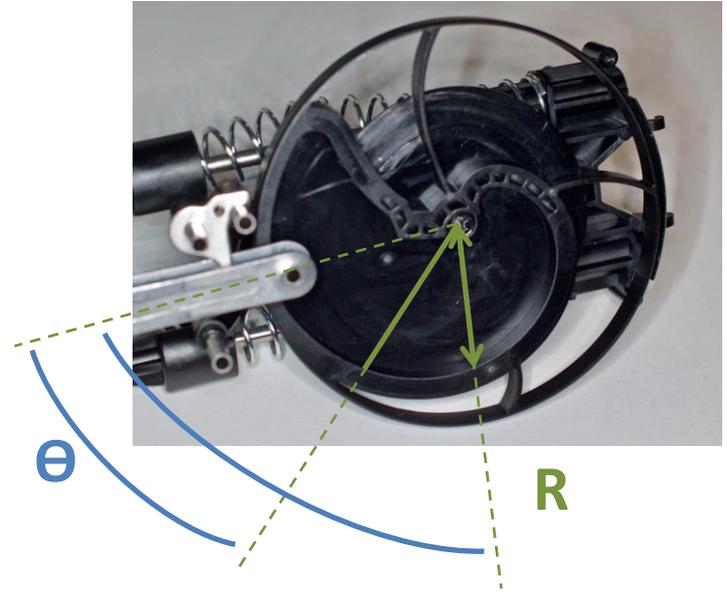
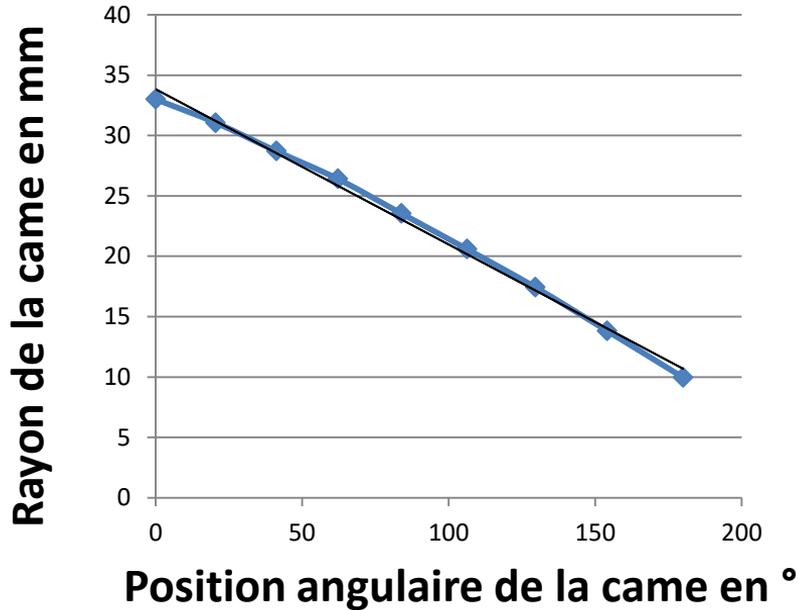
- Il est alors possible de **compléter le modèle** :



Analyse : Profil de la came

- On se propose d'**analyser le profil de la came** :

Rayon de la came = f(position angulaire de la came) ??

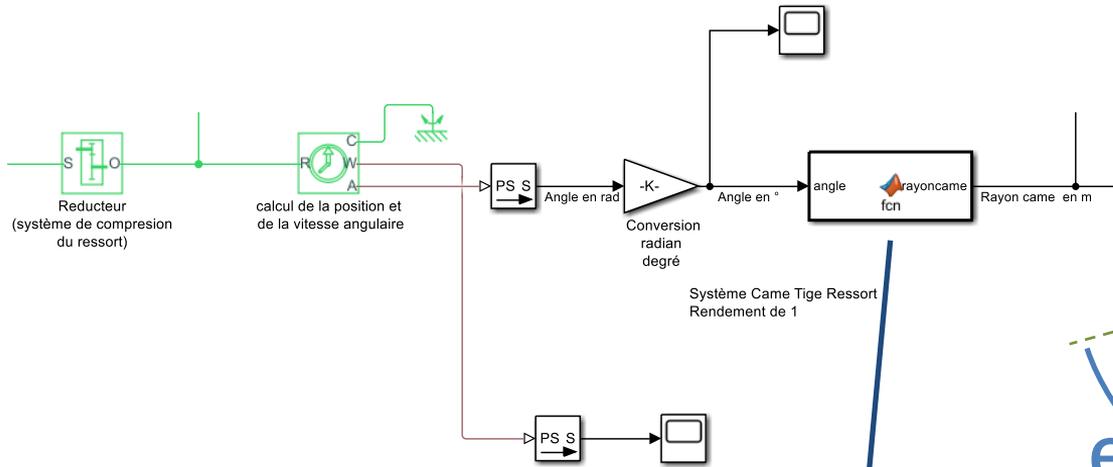


$$R = -0,1287 \times \Theta + 33,84$$

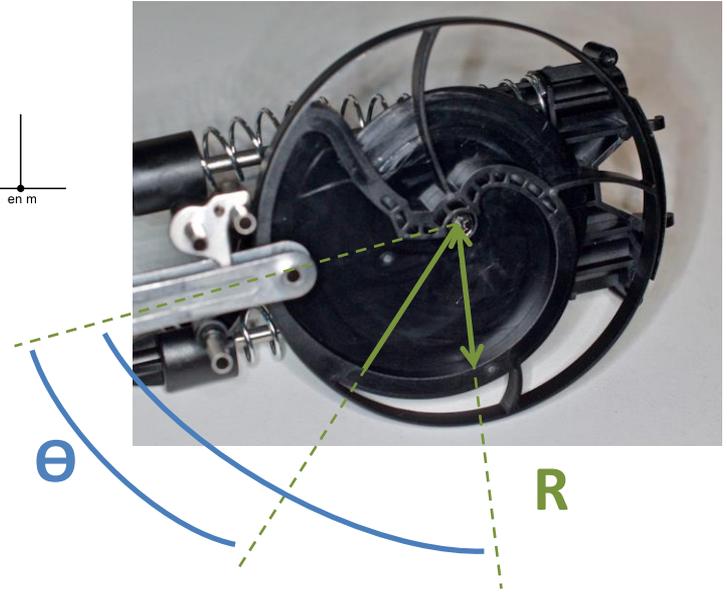
Modélisation : Profil de la came

- Il est alors possible de **compléter le modèle** :

$$\text{Rayon de la came} = (-0,1287 \times \text{angle} + 33,84)$$



Système Came Tige Ressort
Rendement de 1



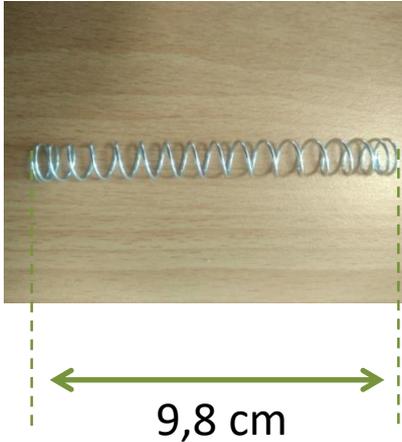
$$R = -0,1287 \times \theta + 33,84$$

```
function rayoncame = fcn(angle)
rayoncame = (-0.1287*angle+33.84)*0.001;
```

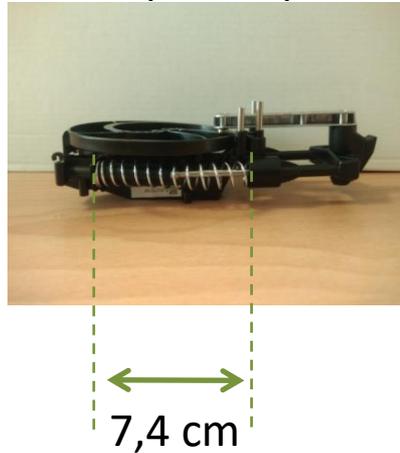
Analyse : Distance de compression

- On se propose de **déterminer les distances de compression des ressorts** :

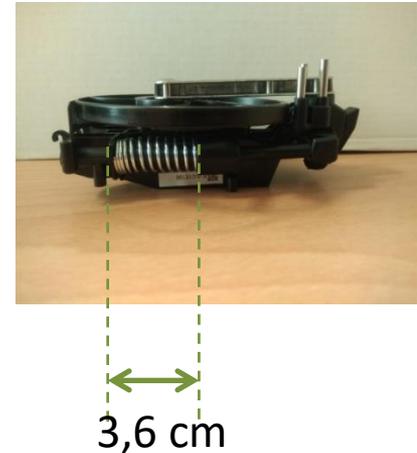
Ressort libre démonté



Ressort comprimé par défaut



Ressort comprimé juste avant saut

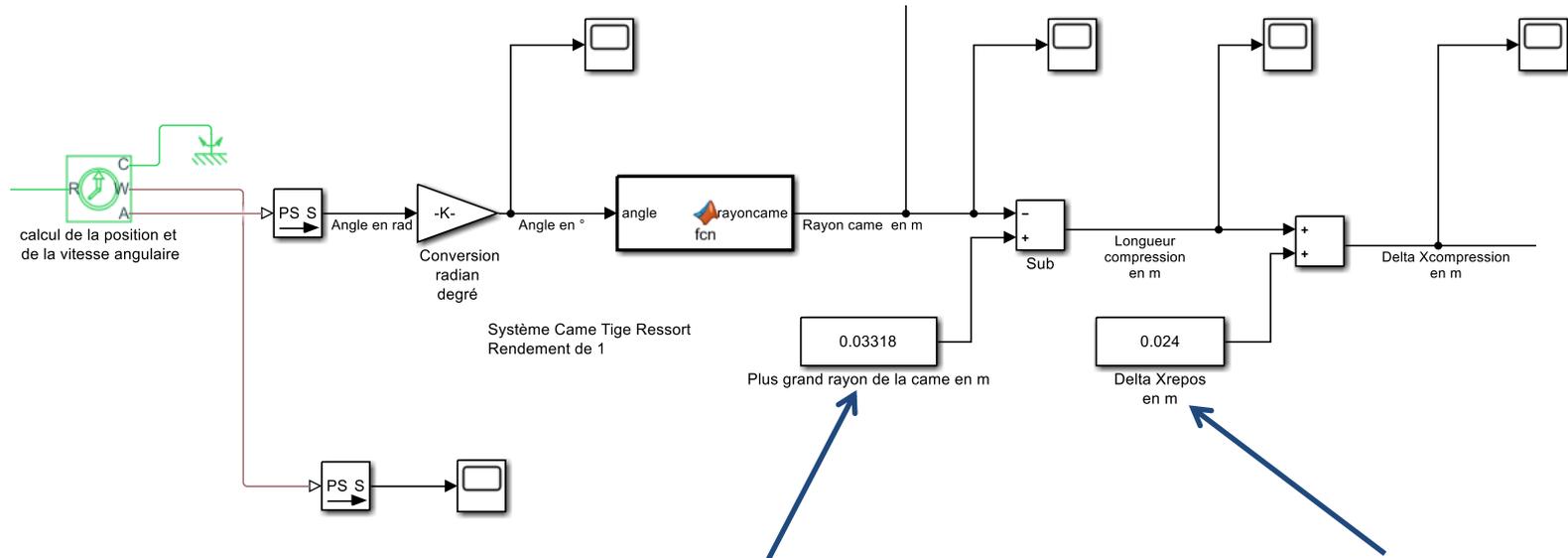


$$\Delta X_{\min} = 9.8 - 7.4 = 2.4 \text{ cm}$$

$$\Delta X_{\max} = 9.8 - 3.6 = 6.2 \text{ cm}$$

Modélisation : Distance de compression

- Il est alors possible de **compléter le modèle** :



$$R_{\max} = 3,384\text{cm}$$

$$\Delta X_{\min} = 9,8 - 7,4 = 2,4\text{ cm}$$

Analyse : Raideur théorique des ressorts

- A partir des caractéristiques du saut (distance de saut de l'ordre de 0,8m) annoncées par le constructeur et des mesures dimensionnelles sur le drone démonté, une **analyse théorique permet d'estimer la raideur théorique des ressorts actuels** :

$$V_0 = \sqrt{\frac{d \cdot g}{\sin(2\theta)}}$$

$$E_c = \frac{1}{2} \times m_{\text{drone}} \times V_0^2$$

Hypothèse : $E_{p_{\text{ressorts}}} = E_c$

$$K_{\text{ressorts}} = \frac{2 \cdot E_{p_{\text{ressorts}}}}{\Delta X_{\text{compression}}^2 - \Delta X_{\text{repos}}^2} = 593,6 \text{ N/m}$$

Soit une raideur théorique de $k_{\text{Ressorts}} = 593,6 \text{ N/m}$

Analyse : Raideur réelle des ressorts

- On se propose de **déterminer la raideur réelle des deux ressorts** :

$$\text{Formule raideur : } k = \frac{G \times d^4}{8 \times N \times D^3} .$$

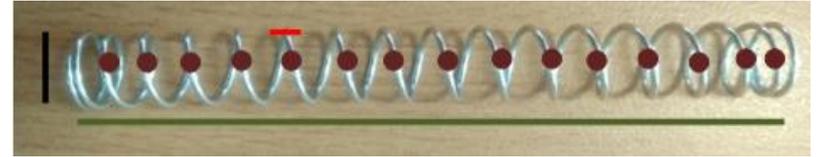
Avec :

$G = 80000 \text{ N/mm}^2$

$D = \text{Diamètre}$

$d = \text{Diamètre de fil}$

$N = \text{nombre de spires}$



Nombre de spires : 15 ●

Diamètre du fil : 1 mm —

Longueur : 98 mm —

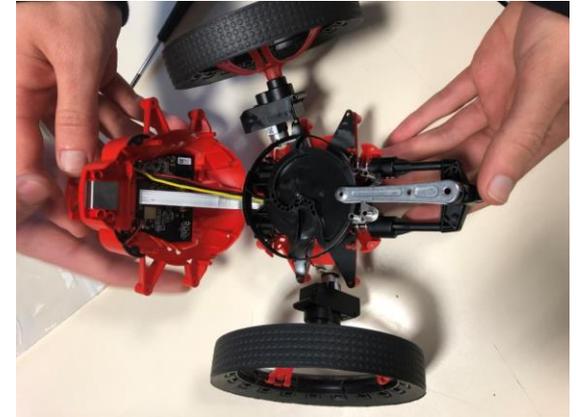
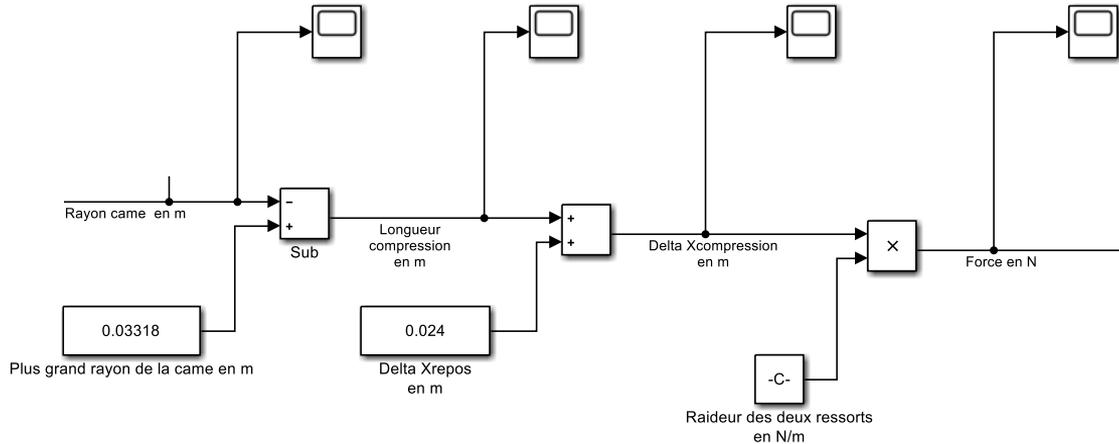
Diamètre extérieur : 10 mm —

$$k_{\text{Ressort}} = 660 \text{ N/m}$$

$$\text{soit } k_{\text{Ressorts}} = 1320 \text{ N/m}$$

Modélisation : Raideur réelle des ressorts

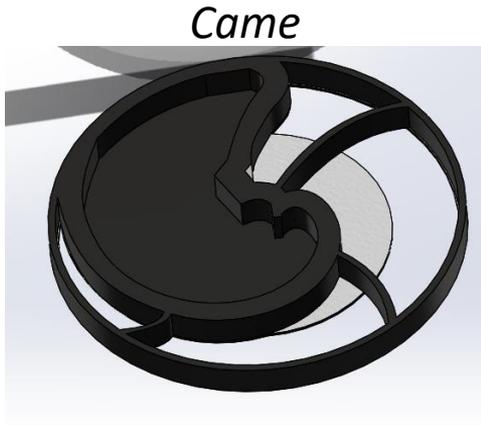
- Il est alors possible de **compléter le modèle** :



$$k_{\text{Ressorts}} = 1320\text{N/m}$$

Expérimentation : Coefficient frottement Came / Bielle

- On se propose d'estimer expérimentalement le coefficient de frottement entre la came et l'embout de bielle.



$$\alpha = 28^\circ$$

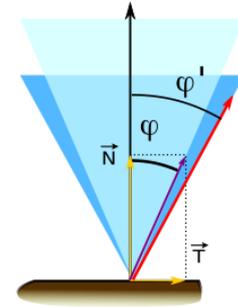
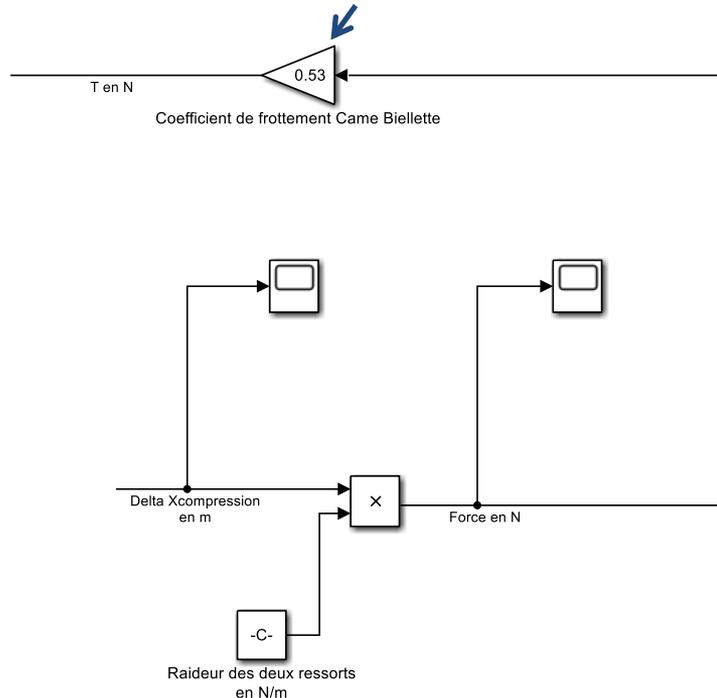


Coefficient de frottements $f = \tan(28^\circ) = 0,53$

Modélisation : Coefficient frottement Came / Bielle

- Il est alors possible de **compléter le modèle** :

Coefficient de frottements = 0,53

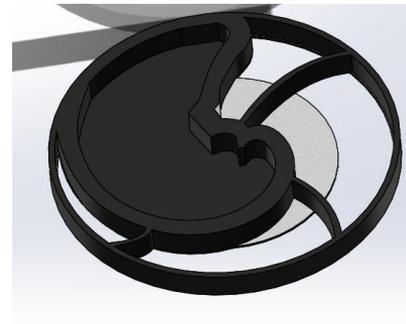


Cônes de frottements
Adhérence et glissement

$$\varphi' > \varphi$$

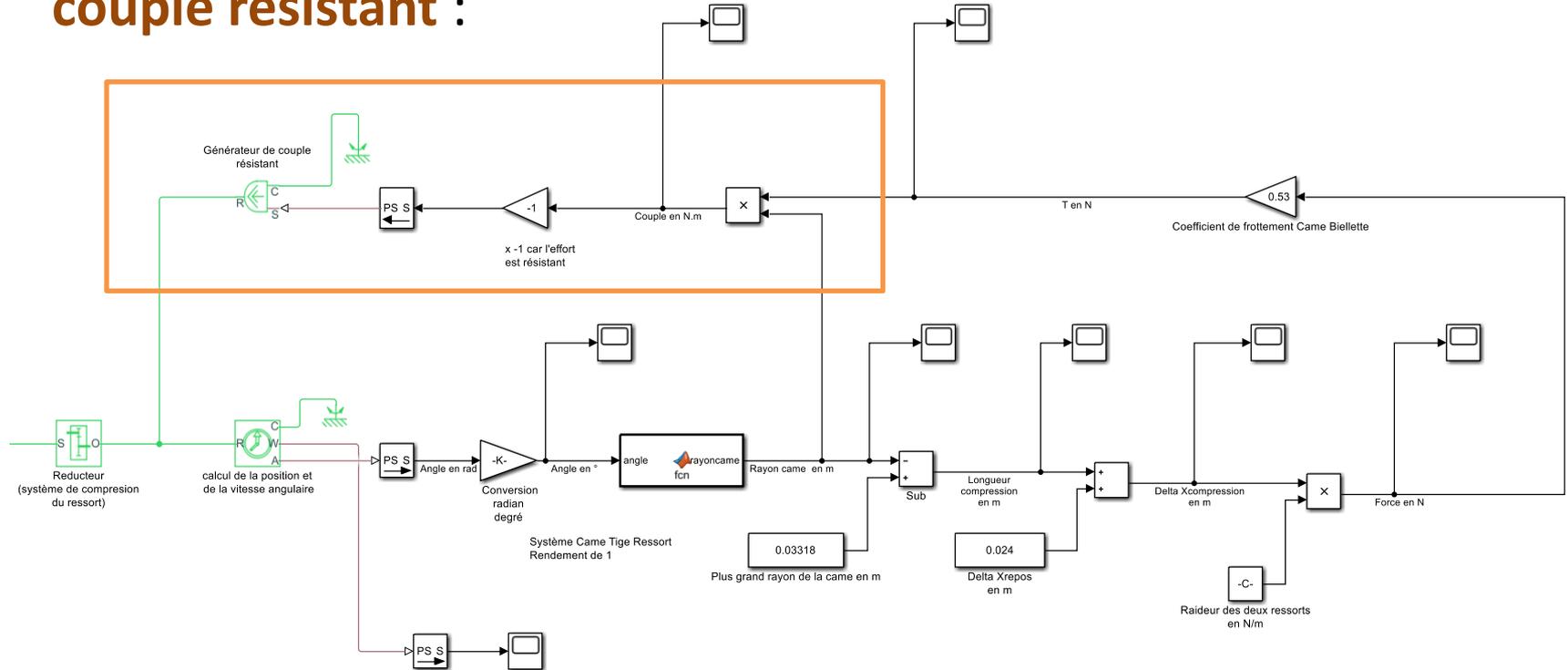
$$f = \tan \varphi$$

$$f' = \tan \varphi'$$



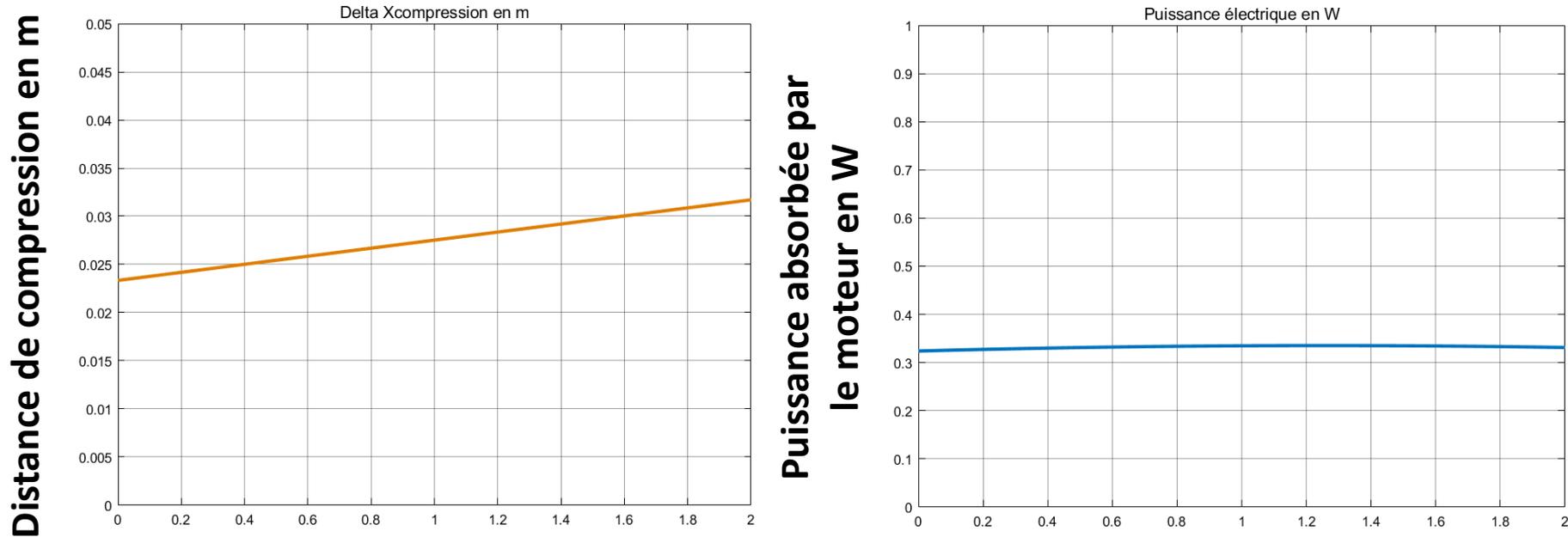
Modélisation : Calcul du couple résistant

- Il est possible de **compléter le modèle pour tenter de calculer un couple résistant** :



Résultats du modèle version 1

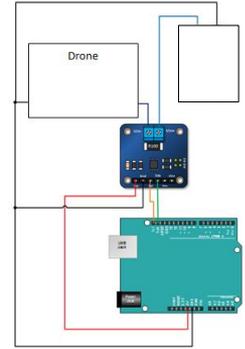
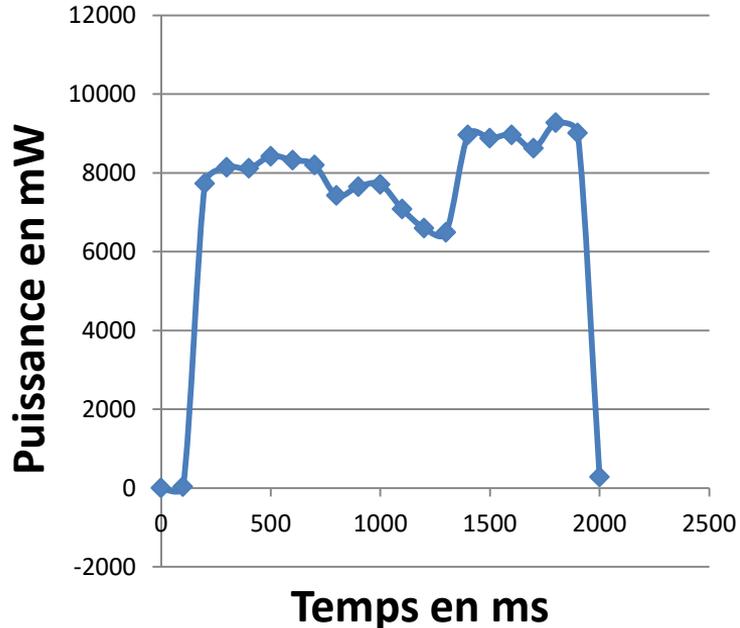
- L'exploitation du modèle version 1 donne ceci :



La puissance électrique absorbée, ici 0,35W max, par le moteur semble **sous évaluée... le modèle ne rend pas compte de toutes les pertes...**

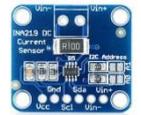
Nourrir le modèle d'une expérimentation

- Pour « nourrir » le modèle version 1, on se propose de **mesurer la puissance absorbée par le moteur de compression** :



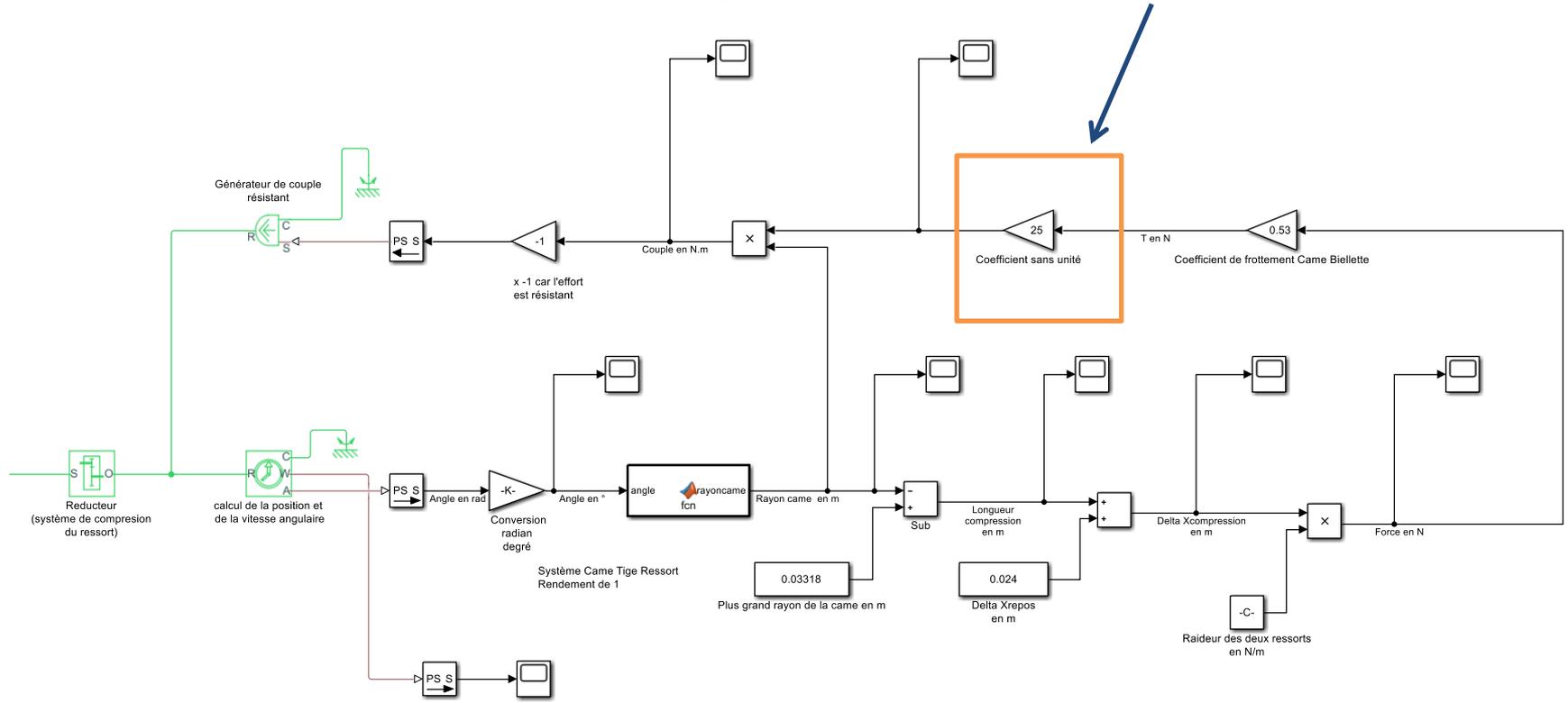
Pour limiter l'impact du prototype de mesurage une Arduino Mini pro a été utilisée

La puissance électrique absorbée maximale est de 8W en réalité,
(utilisation d'un INA219B)



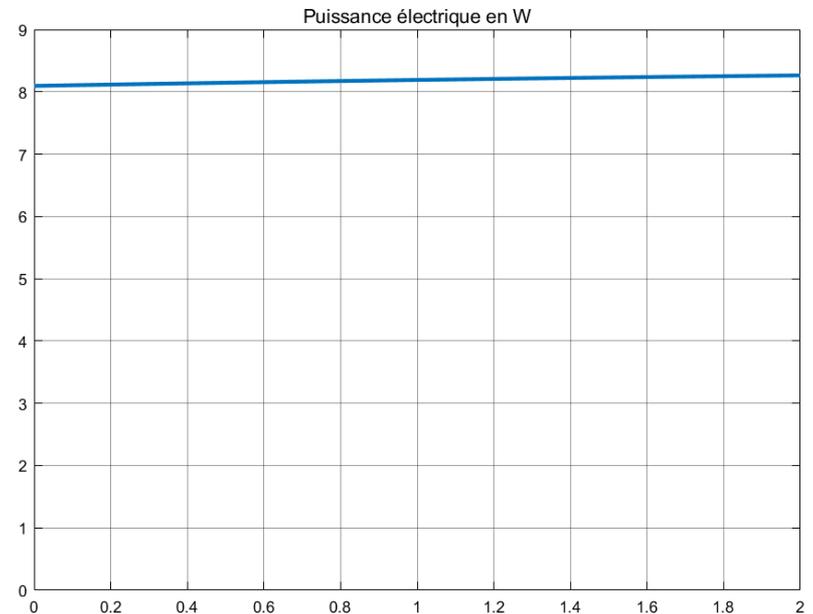
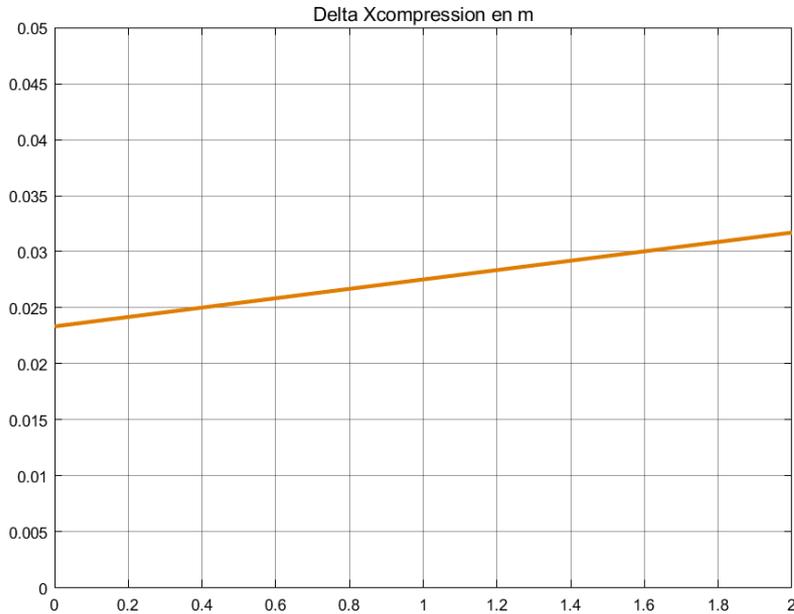
Nourrir le modèle d'une expérimentation

- Ajout d'un **coefficient multiplicateur adapté** dans le modèle :



Résultats du modèle version 2

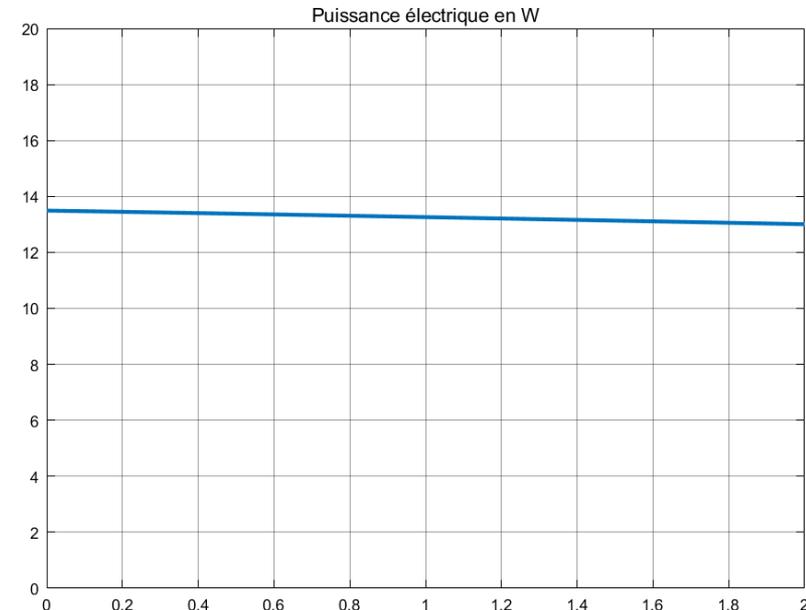
- L'exploitation du modèle version 2 donne ceci :



La puissance électrique absorbée est de 8W max,
le modèle rend compte des pertes.

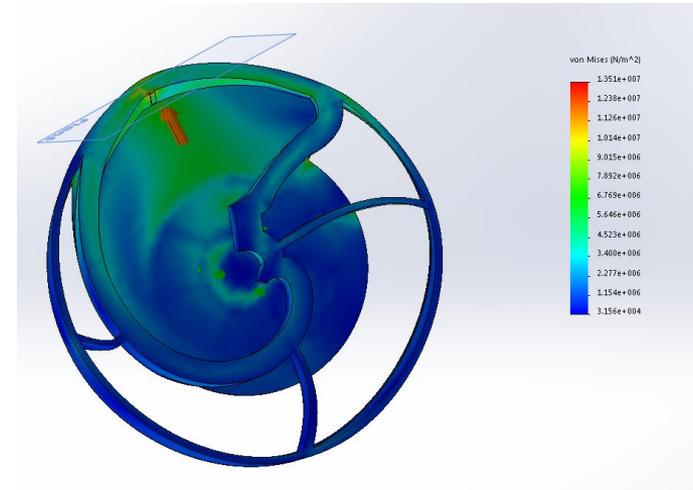
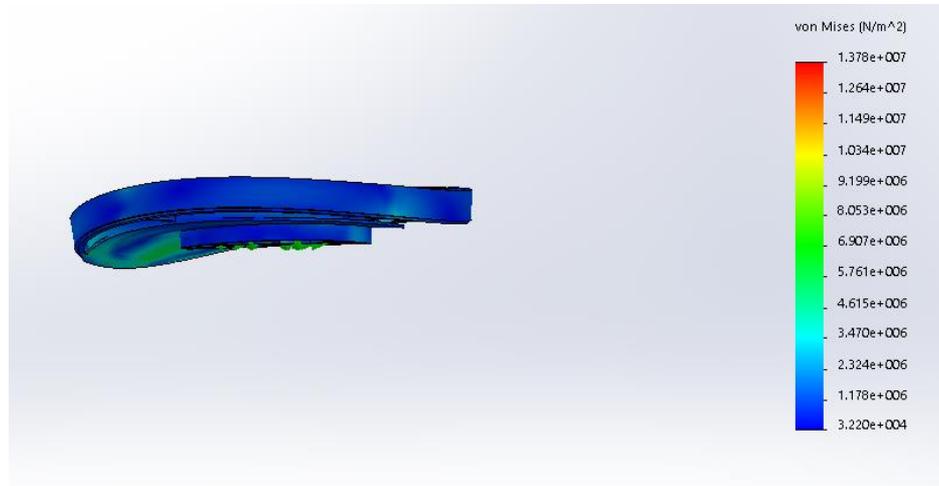
Exploitation du modèle version 2

- On peut envisager d'**utiliser le modèle pour déterminer les conséquences d'un gain de +10% en longueur de saut.**
- Une **étude théorique permet de conclure** qu'une des solutions envisageable est d'**augmenter la raideur des ressorts en passant à :**
 $k_{\text{Ressorts}} = 2200 \text{ N/m}$
- Le modèle permet **d'estimer la puissance du moteur nécessaire à la compression des ressorts (ici 14W)** afin de prévoir son éventuel redimensionnement.



Exploitation du modèle version 2

- L'augmentation de la raideur des ressorts conduit aussi à **l'étude RDM des éléments du système de saut** dont la came :



d	De	Di	L0	Ln	Sn	Fn	R	Référence	Prix Remises Commander ici	Stock	Fichier CAO 3D
Fil mm	Diamètre ext. mm	Diamètre int. mm	Longueur libre mm	Longueur sous charge max. mm	Course max. mm	Force Max. N	Constante de ressort N/mm				
1,19	9,14	6,76	88,90	53,75	35,15	48,21	1,37	C03600473500S			3D CAD

← Nouveau ressort

Merci pour votre écoute!

N'hésitez pas à faire évoluer ce document perfectible !

