

# La chute de la samare

*ou quand un arbre se mêle d'aérodynamisme !*



**Thomas BASILIEN, Antoine CRIBELLIER, Avenir DUPONT**

**Lycée POTHIER - Orléans -**

## Résumé

Le travail a porté sur l'étude de la chute de la samara d'érable. Un tri a été effectué parmi une centaine de graines afin de sélectionner un profil type. Des enregistrements vidéo de la chute de la samare vue de profil et de dessus ont été effectués avec un appareil photo numérique. Ils ont été ensuite traités et analysés pour caractériser le mouvement, en particulier pour déterminer sa nature, la vitesse limite verticale de chute et la vitesse angulaire, l'expression de la force aérodynamique.

Afin de pouvoir faire varier des facteurs morphologiques (masse de la graine, aire de l'aile), des maquettes ont été réalisées et leur chute étudiée.

La dissémination réussie des samares dans la nature dépend des performances de cette chute ralentie par la rotation de la graine.

*Remerciements à Monsieur François-Xavier COQ, professeur en CPGE pour ses encouragements et ses apports critiques.*

<b>1. À la recherche d'un échantillon caractéristique</b>	<b>4</b>
1.1. Une présélection visuelle	
1.2. Étude du rapport masse graine/masse aile	
1.3. Etude du rapport masse de la samare/aire aile	
<b>2.Ça tourne autour de quoi?</b>	<b>6</b>
2.1. Observation	
2.2. Que dit le physicien à partir d'une étude statique ? Le centre de gravité	
2.3. Que dit le physicien à partir d'une étude dynamique ? Le centre d'inertie	
2.4. Que dit le mathématicien ? le barycentre des masses	
2.5. Conclusion.	
<b>3.Ça tombe comment verticalement ?</b>	<b>8</b>
3.1. L'expérience	
3.2. Bilan des forces	
3.3. Etude de la chute verticale	
<b>4. Pourquoi ça tourne ?</b>	<b>11</b>
4.1. Les conditions de mise en rotation d'un solide	
4.2. La portance de l'aile de la samare	
4.3. La vitesse de rotation de la samare lors de sa chute	
<b>5. Qu'est-ce qui influe sur les vitesses ?</b>	<b>13</b>
5.1. Cinq prototypes de samare	
5.2. Etude de la vitesse limite acquise par les différents prototypes	
5.3. Etude des vitesses angulaires	
5.4. Etude des inclinaisons des ailes lors de la chute avec rotation.	
<b>Conclusion</b>	<b>16</b>

La samare double d'érable est un ensemble de deux akènes munis d'une aile membraneuse dissymétrique qui a pour fonction l'anémochorie. L'observation de la chute d'une samare montre que les graines tombent en tourbillonnant à la manière des pales du rotor d'un hélicoptère sans moteur ou des hélices d'une éolienne à axe vertical.

Notre étude porte sur la chute d'une demi samare double, faite à partir de vidéos réalisées de profil et de dessus. Nous nous sommes posé trois questions :

- *ça tourne autour de quoi ?*
- *ça tombe comment ? Et pourquoi ?*
- *Quels sont les facteurs qui agissent sur les vitesses ?*

## 1. À la recherche d'un échantillon caractéristique

Si on observe bien une similitude entre les mouvements de chute de différentes samares, il n'en demeure pas moins qu'il existe quelques différences apparentes dues notamment à la morphologie de la samare (taille de l'aile, planéité de l'aile, état de la graine...). Il fallait donc travailler sur un échantillon de samares à propriétés physiques semblables pour pouvoir tirer des lois générales du mouvement de chute.

### 1.1. Une présélection visuelle

Nous avons présélectionné de grandes samares (envergure  $\geq 5$  cm), planes et avec une graine ronde.



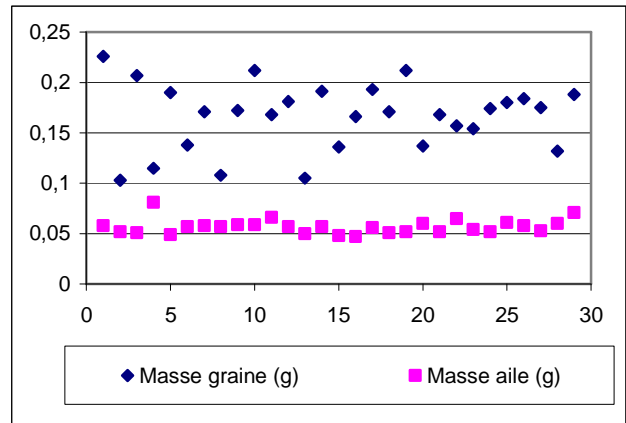
Parmi une centaine de samares sélectionnées d'aspects similaires, trente ont été « sacrifiées » pour mesurer les caractéristiques suivantes :

Masse moyenne de la samare (g)	Masse moyenne de la graine (g)	Masse moyenne de l'aile (g)	Aire moyenne de l'aile (cm <sup>2</sup> )	Aire moyenne de la graine (cm <sup>2</sup> )
0,22 ± 0,03	0,17 ± 0,03	0,06 ± 0,01	8,1 ± 0,4	0,8 ± 0,1

## 1.2. Étude du rapport masse graine/masse aile

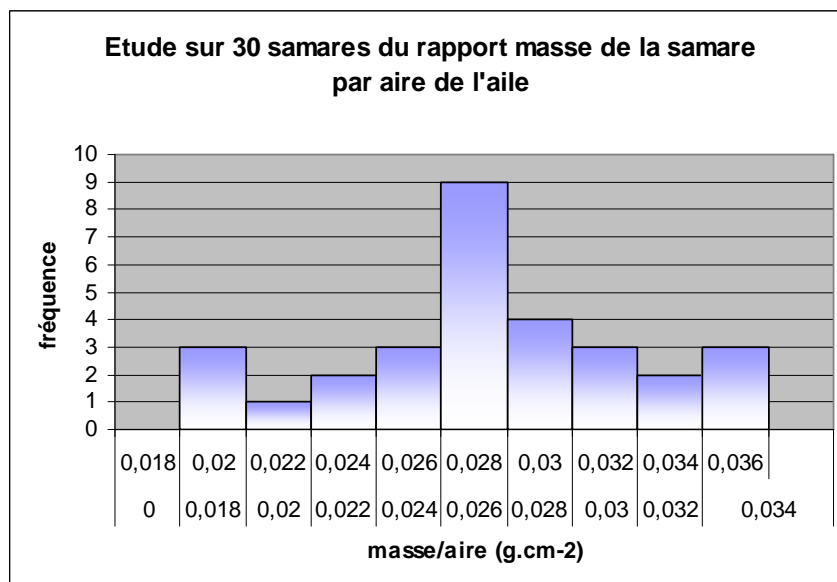
On constate que, pour cet échantillon de 30 samares « type » :

- la masse de l'aile est sensiblement constante, seule la masse de la graine varie.
- la masse de l'aile ne représente, le plus souvent que  $\frac{1}{4}$  environ de la masse de la samare.



## 1.3. Étude du rapport masse de la samare/aire aile

Hypothèse : Pour disséminer les graines en douceur loin de l'arbre, nous avons pensé que la nature se « débrouille » pour que la portance liée à l'aile de l'aile soit d'autant plus grande que la masse est plus importante. Autrement dit, le rapport masse/aire devrait être à peu près le même pour toutes les « supers samares » sélectionnées.



Pour l'échantillon choisi, 50% seulement des samares à un rapport masse/aire constant et égal à  $0.028 \text{g.cm}^{-2}$  à 5% près.

Notre hypothèse n'est pas validée. Finalement, la nature diversifie ses chances de réussite !



## 2. Ça tourne autour de quoi?

### 2.1. Observation

On remarque, lors de la chute vue du dessus de la samare que l'aile et la graine pivotent autour d'un axe, qui en absence de courant d'air, semble vertical.

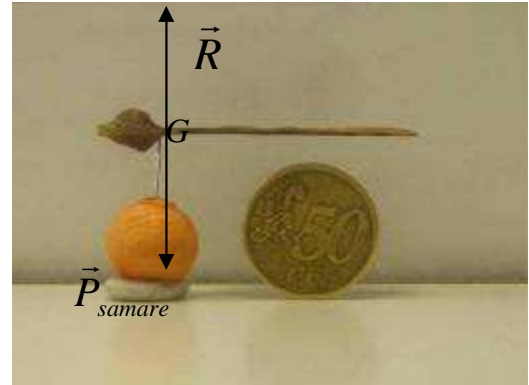
### 2.2. Que dit le physicien à partir d'une étude statique ? Le centre de gravité.

On pose la samare en équilibre horizontal sur une aiguille. Le point d'équilibre est le centre de gravité. Deux forces s'exercent : le poids et la réaction de la pointe.

$$1^{\text{ère}} \text{ loi de newton } \sum \vec{F} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{V}_G = \vec{C}^{ste}$$

La samare est en équilibre horizontal :  $\sum_i \vec{M}_i = \vec{0}$

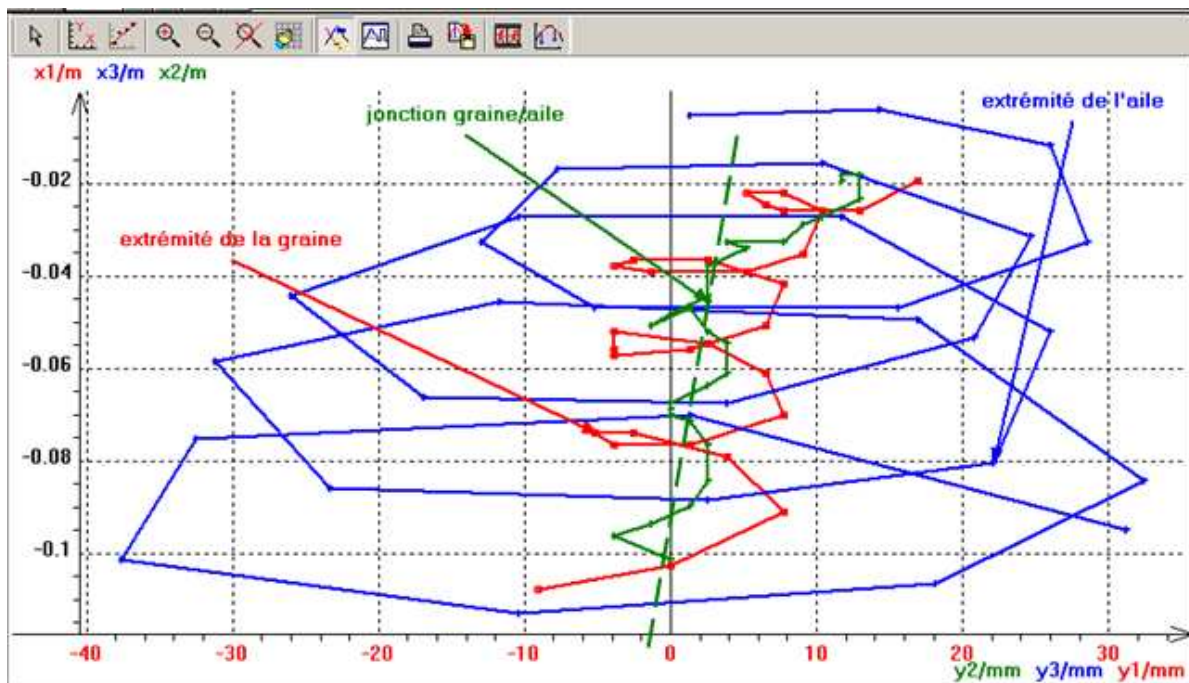
Limite de la méthode : la pointe a une épaisseur déterminant une zone d'équilibre et non un point.



### 2.3. Que dit le physicien à partir d'une étude dynamique ? Le centre d'inertie.

On fait une vidéo à l'aide d'un appareil photo numérique de la chute de la samare vue du dessus. A l'aide d'un logiciel de pointage (Regavi) et d'exploitation (Regressi), on constate qu'un point à un mouvement plus simple que les autres. C'est le centre d'inertie.

**Le centre d'inertie est proche de la jonction de la graine et de l'aile.**



La détermination précise du centre d'inertie est difficile pour plusieurs raisons :

- la rotation de la samare n'est pas systématiquement dans l'axe de l'objectif,
- le nombre d'images par seconde est insuffisant avec l'appareil photo utilisé.
- le pointage est imprécis sous regavi (images plus ou moins floues).

## 2.4. Que dit le mathématicien ? Le barycentre des masses

On choisit une samare « type » que l'on découpe en trois parties : la graine, le bord d'attaque et l'aile.



On pèse chaque partie.

Masse totale de la samare : 0,250g	Masse de la graine : 0,191g
Masse de l'aile : 0,041g	Masse du bord d'attaque : 0,018g

On divise l'aile de la samare en plusieurs formes géométriques « simples », dont on peut déterminer facilement le barycentre géométrique.

On assimile la graine à un cercle dont le barycentre est son centre (**F**). Pour l'aile, **A** est le barycentre du demi cercle ( $4R/3\pi$  du centre du cercle), **B** le barycentre du grand rectangle (intersection des diagonales), **C** le barycentre du triangle (intersection des médianes), **D** le barycentre du petit rectangle (intersection des diagonales) et **E** le barycentre du bord d'attaque (intersection des diagonales).

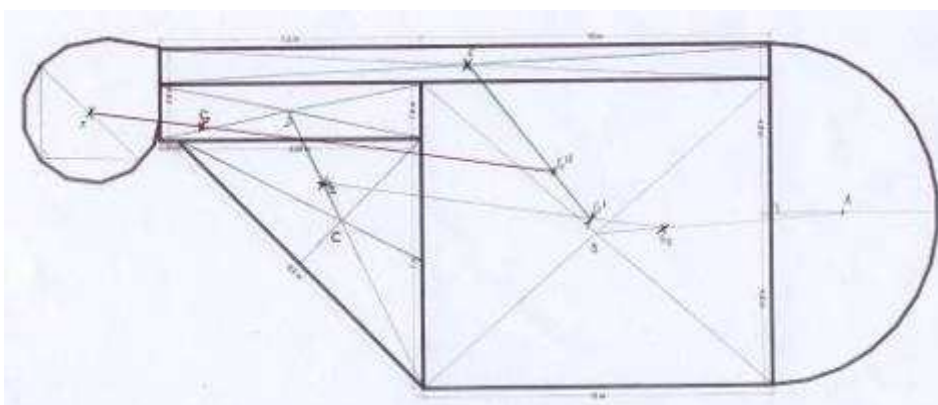
D'après la définition du barycentre si on a deux points **A** et **B**, et deux réels  $\alpha$  et  $\beta$  tels que  $\alpha + \beta \neq 0$ , alors Il existe un et un seul point **G** tel que :

$$\alpha \overrightarrow{GA} + \beta \overrightarrow{GB} = \vec{0}$$

Ce point **G** est le barycentre des points pondérés (**A ;  $\alpha$** ) et (**B ;  $\beta$** )

On affecte à chaque partie, en admettant qu'elles sont homogènes, sa masse comme coefficient de son barycentre.

On détermine ainsi par le calcul la position du barycentre des masses de l'ensemble.



**On trouve le barycentre des masses **G** sur l'aile à 0,3 mm de la graine.**

Limite de la méthode : La forme de la samare modélisée est proche de celle d'une samare « type » sans être tout à fait la même. Si pour toutes les samares sélectionnées, la masse de l'aile est relativement constante, la masse de la graine varie et le point **G** se déplace sur la droite **FG** tout en restant plus proche de la graine que du barycentre de l'aile.

## 2.5. Conclusion.

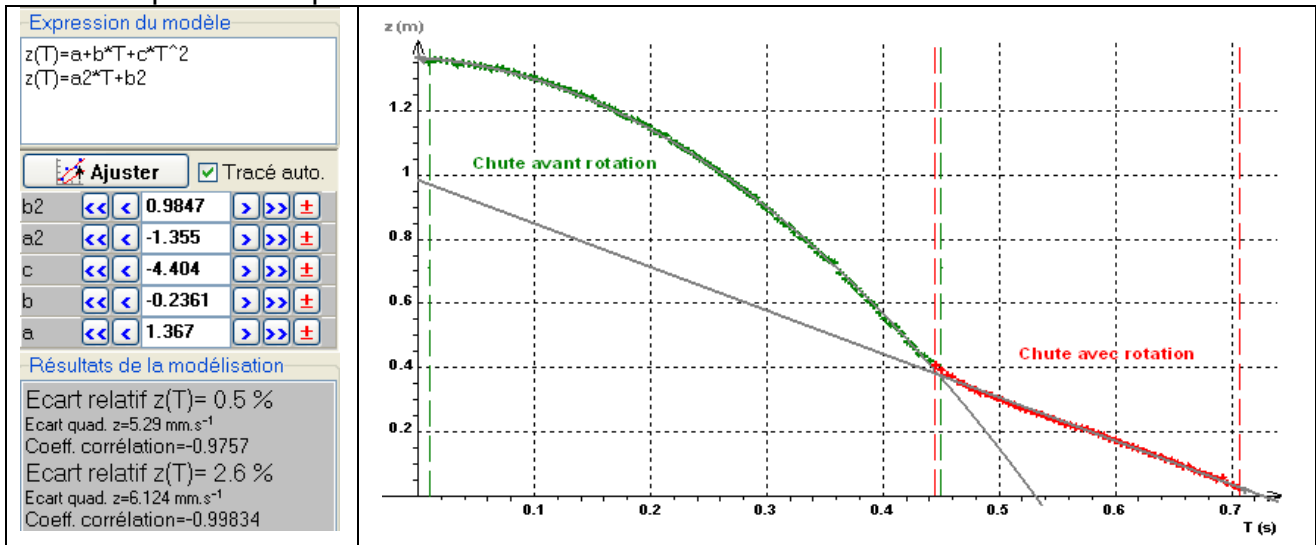
D'après les résultats des différentes expériences effectuées, nous pouvons déduire que le centre d'inertie de la graine se situe très près de la jonction graine/l'aile.

## 3. Ça tombe comment verticalement ?

### 3.1. L'expérience

La samare est lâchée horizontalement, sans vitesse initiale, d'une hauteur de 1,5 m environ. On filme de profil la chute.

La chute présente 2 phases.



*Première phase* : chute sans rotation

La samare tombe en pivotant pour placer la graine vers le bas et l'aile peu inclinée sur l'horizontale ( $\alpha \approx 30^\circ$ ). Son mouvement est uniformément accéléré.

*Seconde phase* : chute avec rotation

La samare tombe en tourbillonnant. Elle atteint très vite une vitesse limite. Son mouvement est rectiligne uniforme.

Une vingtaine d'enregistrements de chute d'une même samare montre le même type de graphique quelles que soient la hauteur de chute, l'inclinaison de la samare au moment du lâcher.

### 3.2. Bilan des forces

Système étudié : La samare de centre d'inertie G.

Référentiel terrestre considéré comme galiléen.

Bilan des forces :

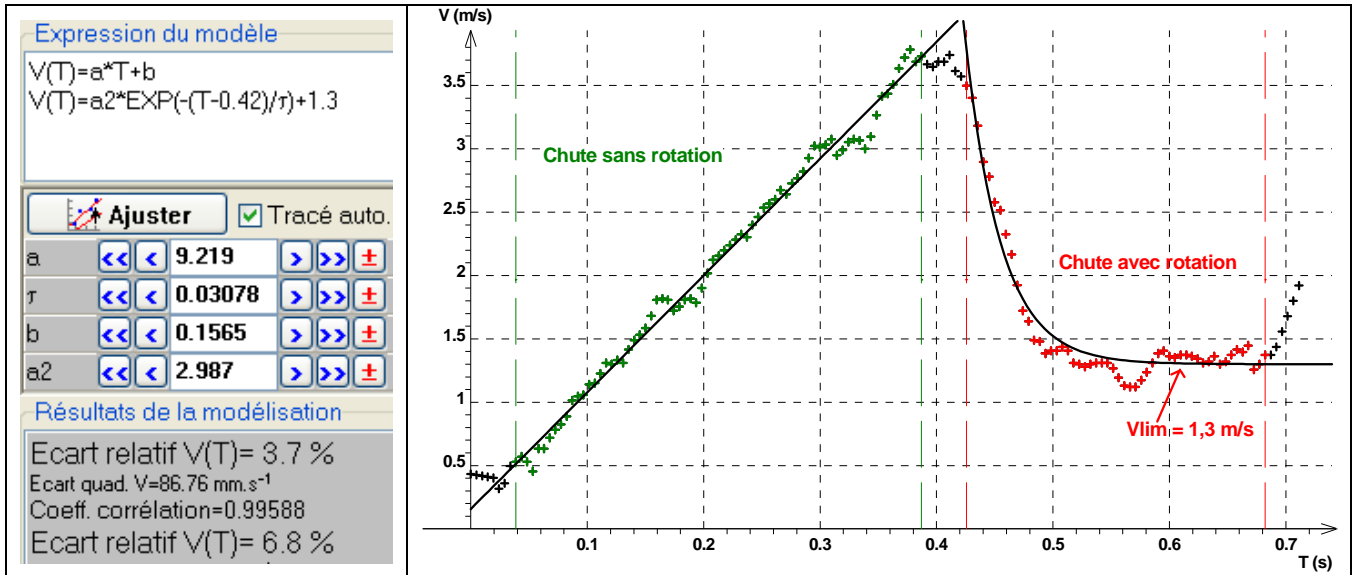
Poids : $\vec{P}$	Vertical Vers le bas $P = m \times g = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$	
Poussée d'Archimède : $\vec{\pi}$	Vertical Vers le haut $\pi = \rho \times V \times g = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ N}$ $\pi \ll P$	
Force aérodynamique : $\vec{F}$	Vertical Vers le haut $F = k \times v^\alpha$	



### 3.3 Etude de la vitesse de chute.

#### Calcul de la vitesse

En prenant la dérivée de la fonction  $z(t)$  représentant la position du centre d'inertie, on obtient la vitesse instantanée verticale de ce point de la samare.



Evolution de la vitesse de chute du centre d'inertie  $G$  de la samare.

#### Équation du mouvement du centre d'inertie

On admet que la force exercée par l'air (hors poussée d'Archimède négligée) est de la forme  $F = k \times V_G^\alpha$ .

D'après la deuxième loi de Newton :  $\sum \vec{F}_i = m \times \vec{a}_G$

$$\vec{P} + \vec{F}_x = m \times \vec{a}_G = m \times \vec{V}'_G$$

Par projection sur un axe vertical descendant, on obtient :

$$P - F_x = m V'_G$$

$$mg - k V_G^\alpha = m V'_G$$

Le mouvement du centre d'inertie est modélisé par l'équation différentielle :

$$V'_G + \frac{k}{m} V_G^\alpha - g = 0$$

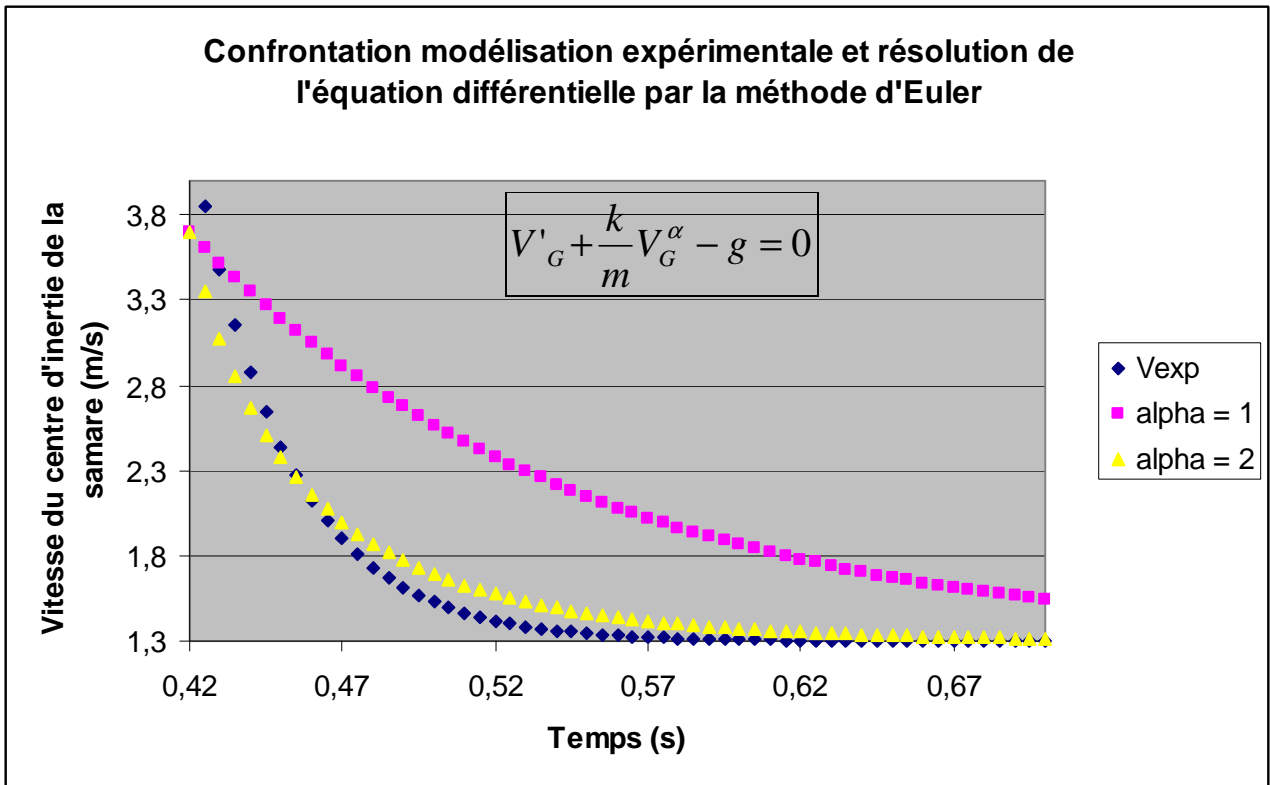
Avec  $V_{\text{lim}} = 1,3 \text{ m.s}^{-1}$  et  $V(0) = 3,7 \text{ m.s}^{-1}$ .

À partir de 0,6 s le mouvement est un mouvement rectiligne uniforme, donc l'accélération  $V'_G$  est nulle.

1<sup>ère</sup> loi de Newton :  $\sum \vec{F}_i = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{V}_G = \vec{C}^{\text{ste}}$

$$\vec{P} + \vec{F} = \vec{0} \quad \text{d'où} \quad F - P = 0$$

$$\text{Soit : } k \times V_{\text{lim}}^\alpha - m \times g = 0 \quad \text{d'où} \quad \frac{k}{m} = \frac{g}{V_{\text{lim}}^\alpha}$$



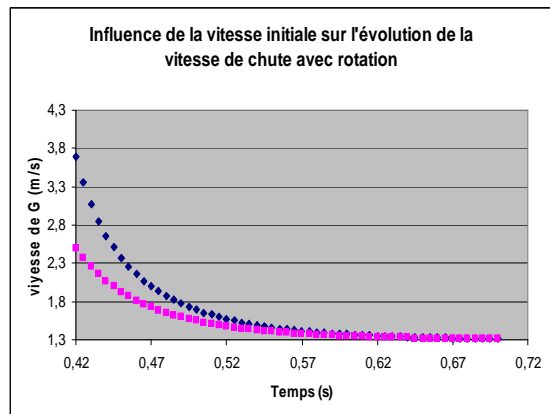
### Conclusion et critiques

Aux incertitudes expérimentales près, on peut assimiler la courbe expérimentale modélisée par le logiciel REGRESSI à celle donnée par l'équation différentielle dans laquelle le coefficient  $\alpha$  serait égal à 2.

La force aérodynamique est donc de la forme  $F = k * v^2$  avec  $k$  qui dépend des caractéristiques de l'aile et de l'air.

Les différents enregistrements de la chute d'une même samare nous ont montré que :

- \* La rotation ne s'effectue pas à partir d'une vitesse particulière acquise par la samare lors de la première partie de chute sans rotation. On trouve en effet :  $2,5 \text{ m/s} \leq V_{\max} \leq 4,0 \text{ m/s}$ .
- \* L'angle d'inclinaison du lâcher influe sur le temps de mise en rotation.
- \* La vitesse limite reste la même :  $V_{\text{lim}} \approx 1,3 \text{ m/s}$  pour une samare de 0,2 g.



## 4. Pourquoi ça tourne ?

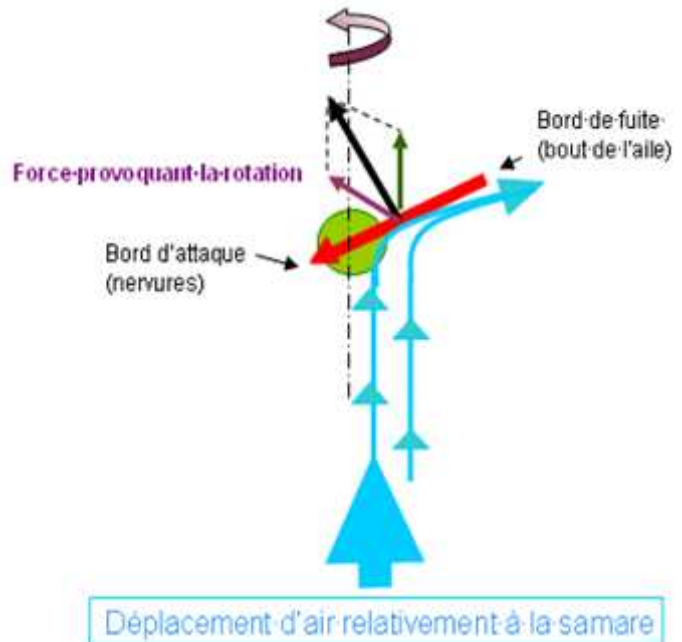
### 4.1. Conditions de mise en rotation d'un solide

La samare se met à tourner autour d'un axe dès qu'il apparait une force non parallèle à l'axe et dont la direction ne coupe pas celui-ci.

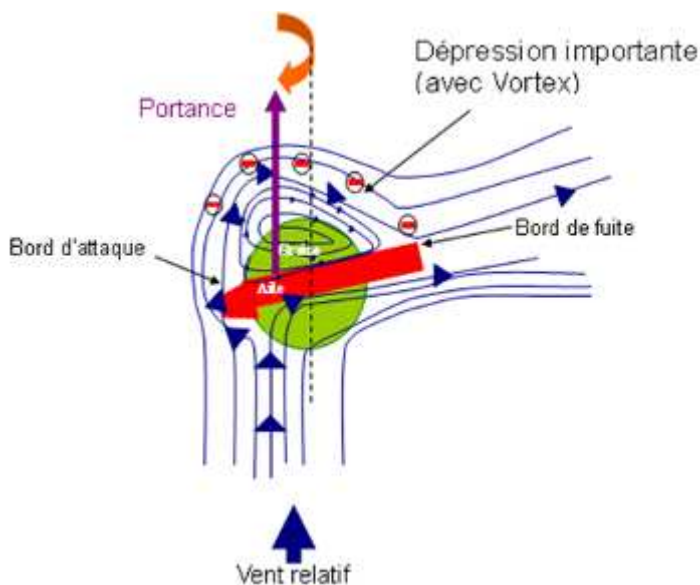
Lorsque la graine ailée commence sa chute, il se forme une couche limite en paroi autant autour de la graine que de l'aile. Dans le repère de la graine, la vitesse de l'air passe de 0 à 1,3 m/s en quelques centimètres de chute. C'est cette forte perturbation qui est à l'origine des tourbillons de bord qui, à leur tour, font tourner l'ensemble.

Le rapport masse/aire du bord d'attaque est plus important que celui de l'aile. L'aile s'incline donc avec le bord d'attaque en avant.

Il faut donc, pour que la samare tourne, un vent vertical et un léger angle d'inclinaison de l'aile par rapport à l'horizontale (vue de profil).



### 4.2 La portance de l'aile de samare



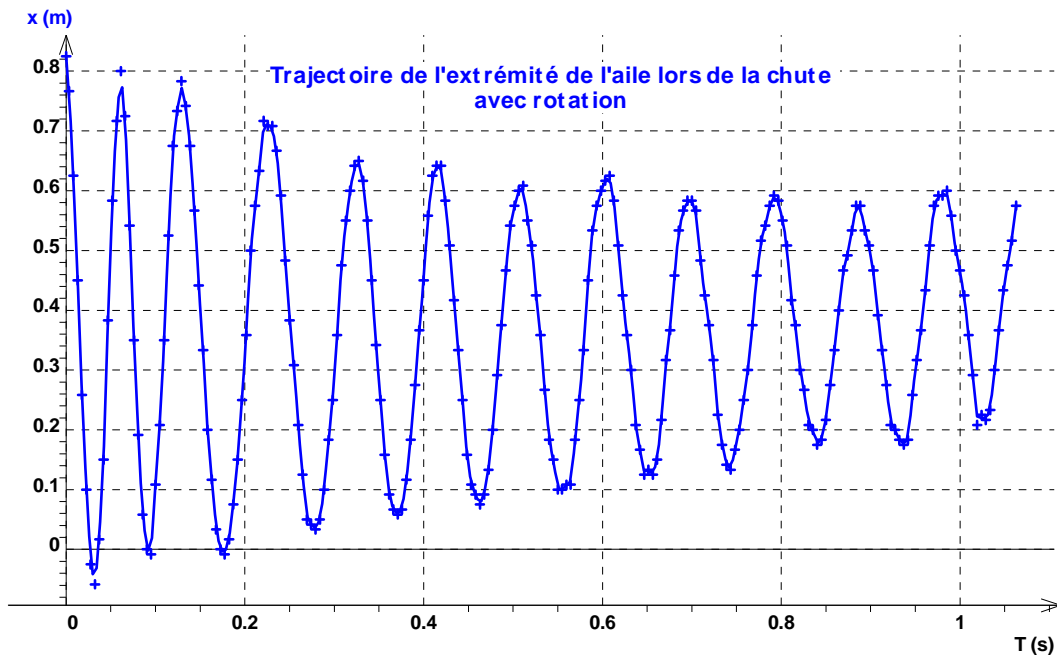
Le vent en arrivant sur l'aile crée une forte dépression sur son extrados ce qui entraîne une force verticale vers le haut appelée portance.

### 4.3. La vitesse de rotation de la samare lors de sa chute

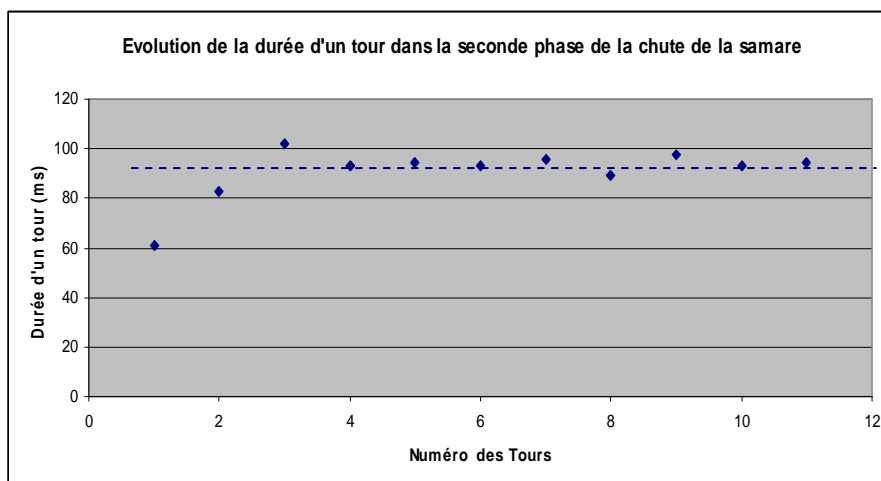
Un enregistrement de la chute vue de dessus, d'une samare d'une hauteur de 2,5 m environ, et son traitement permet de déterminer la position de l'extrémité de l'aile.

La fonction  $x(t)$  n'est pas une sinusoïde pure :

- À chaque tour, le centre d'inertie tombe d'une hauteur  $V_{lim} \times T$  et la graine s'éloignant de l'objectif de l'appareil photo, l'amplitude diminue.
- La durée d'un tour augmente en début de chute (sur les 4 premiers cycles) puis demeure constante  $T \approx 90$  ms soit 11 tours/s.



Enregistrement de la rotation de la samare vue de dessus.



Différents enregistrements de chute sur une même samare d'une part, puis sur les maquettes montrent que les conditions initiales de lâcher n'ont pas d'effet notable sur la valeur limite de la vitesse angulaire.

## 5. Qu'est-ce qui influe sur les vitesses ?

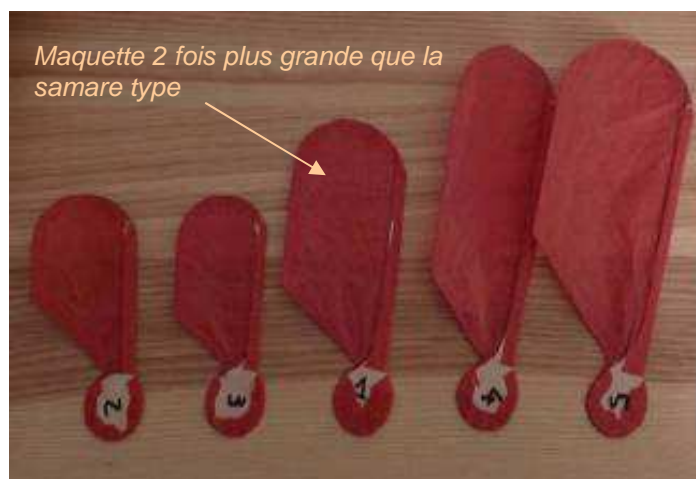
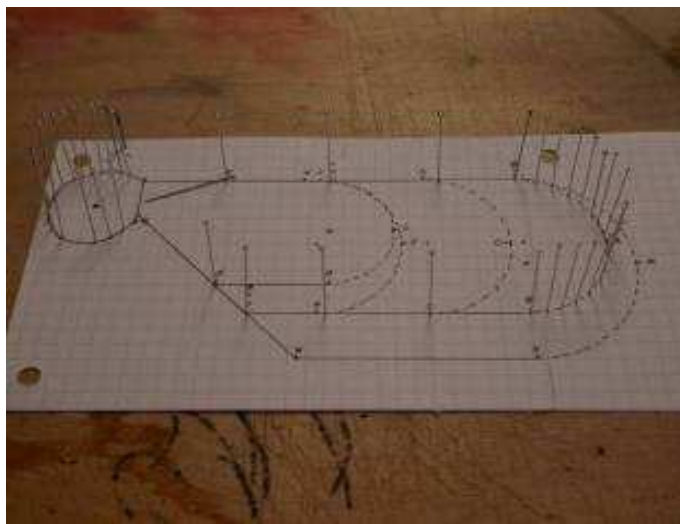
### 5.1. Cinq prototypes de samare®

Afin de pouvoir faire varier la masse de la samare et/ou l'aire de l'aile, et pour visualiser plus aisément la chute, des prototypes ont été réalisés (une graine et un bord d'attaque en balsa sur lequel s'appuie une structure en fils de fer entoilé.).

**Prototype 1** : toutes les proportions de la samare type ont été conservées mais multipliées par 2.

**Autres prototypes** : Soit la longueur, soit la largeur a été modifiée par rapport au prototype 1.

Il résulte que chaque prototype possède une aire différente.

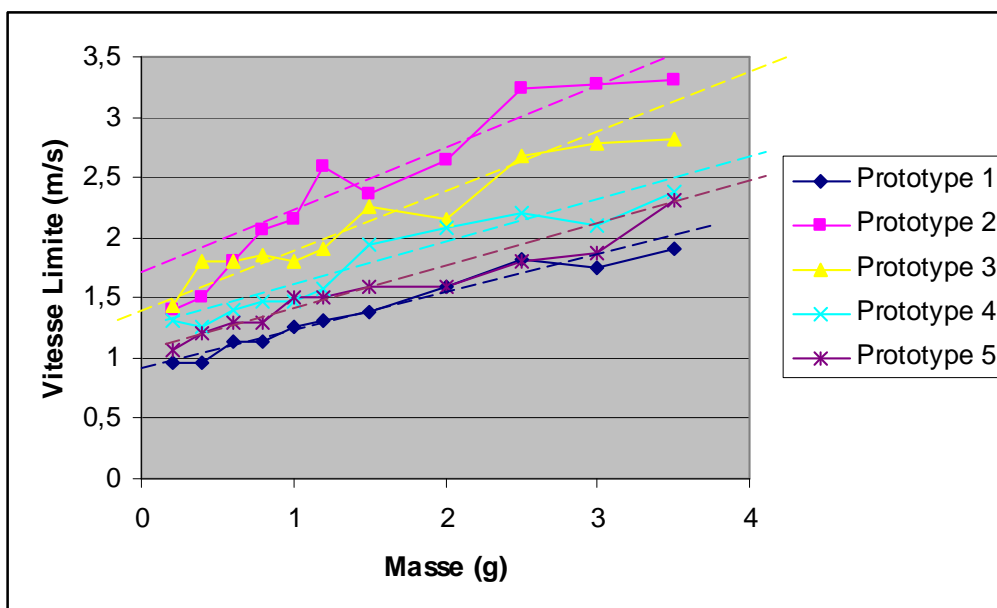


	Longueur de l'aile (cm)	Largeur de l'aile (cm)	Aire de l'aile (cm <sup>2</sup> )	Aire par rapport au(1)
Prototype 1	12	5	44	1
Prototype 2	8	5	36	0,8
Prototype 3	8	4,3	27	0,6
Prototype 4	15	5	59	1,3
Prototype 5	15	7,2	70	1,6



## 5.2. Étude de la vitesse limite acquise par les différents prototypes

On étudie la vitesse limite des différents prototypes en variant la masse de la graine, à 0,01g près, par ajout de *patafix*.



Évolution des vitesses limites des différents prototypes

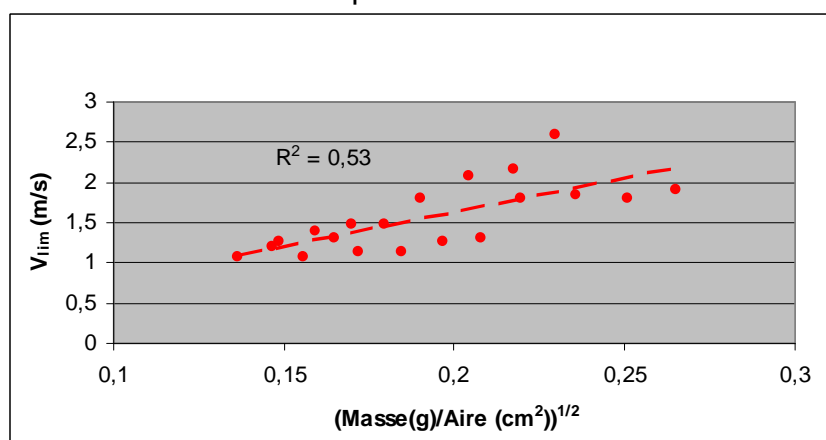
D'après le graphique, la vitesse limite atteinte lors de la chute des prototypes

- augmente avec la masse de la graine.
- est plus importante pour les samares dont l'aire est plus petite.
- Le profil optimum pour tomber lentement est le prototype 1, copie de la nature !!

D'après un article de l'American Journal of Botany [1], la vitesse limite serait une fonction de la racine carrée du rapport masse/aire.

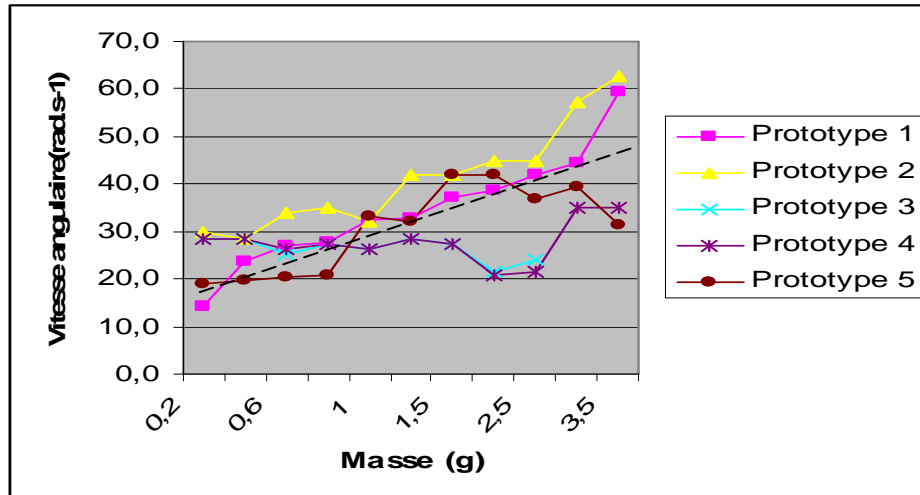
$$\text{si } F = kv^2 = \frac{1}{2} \rho S C v^2 \text{ alors } V_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{mg}{k}} = \sqrt{\frac{2g}{\rho C}} \times \sqrt{\frac{m}{S}} = A \sqrt{\frac{m}{S}}$$

On a voulu vérifier si cela était confirmé par nos mesures.



On peut constater un écart des mesures par rapport à la droite attendue. Un plus grand nombre de points permettrait peut-être confirmer ou contredire la conclusion.

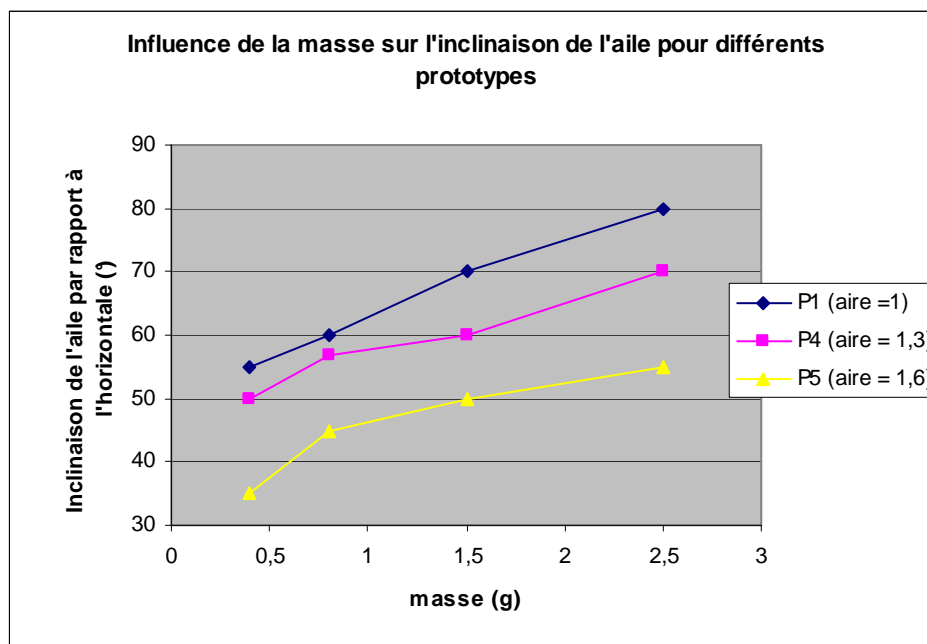
### 5.3. Etude des vitesses angulaires



A partir de vidéos, on peut faire les constatations suivantes : La vitesse angulaire

- augmente avec la masse
- varie peu suivant le profil

### 5.4. Etudes des inclinaisons des ailes lors de la chute avec rotation.



- Pour une même masse, l'inclinaison de l'aile augmente avec l'aire.
- Pour une même aire, plus la masse augmente, plus l'angle d'inclinaison de l'aile augmente.

## Conclusion

Notre étude nous a permis de savoir que la samare tourne autour d'un axe passant par le centre d'inertie situé près de la jonction graine / aile. Son mouvement atteint rapidement une vitesse limite qui permet à la graine de tomber en douceur. C'est la rotation de la samare qui permet de freiner la chute. La masse de la graine, l'aire de l'aile, l'inclinaison de l'aile sont des facteurs importants pour les caractéristiques de la chute tourbillonnante.

L'intérêt de cette chute ralentie est de transporter la samare loin de l'arbre pour permettre la dissémination des graines.

## Références

- [1] GREEN D., Velocity and dispersal of samaras, American Journal of Botany, 67/81, pp1218\_1224, sept. 1980
- SALTHUN-LASSALLE B., Comment volent les fruits ailés ? Pour la Science, 18/06/2009
- Livres de physique de 1S et Term S .éd. BORDAS 2005
- Livre de mathématiques 1S éd. BORDAS 2005