

Modélisation de l'écoulement de Betz et rendement d'hélices réceptrices

Problématique: comment optimiser le rendement d'hélices réceptrices ?

- 1) proposer un modèle théorique et le valider



2 types d'expériences

- 2) comparer des hélices de structure et de dimension différentes



2 types d'expériences

- 3) conclure quant aux structures à adopter

Sommaire

I. Introduction

II. Mise en place du modèle de l'écoulement

- A. Etude théorique de l'écoulement et limite de Betz
- B. Validation du modèle

III. Etude des hélices

- A. Puissance absorbée par les hélices
- B. ω_l vitesse de rotation limite des hélices

IV. Conclusion

Sommaire

I. Introduction

II. Mise en place du modèle de l'écoulement

- A. Etude théorique de l'écoulement et limite de Betz
- B. Validation du modèle

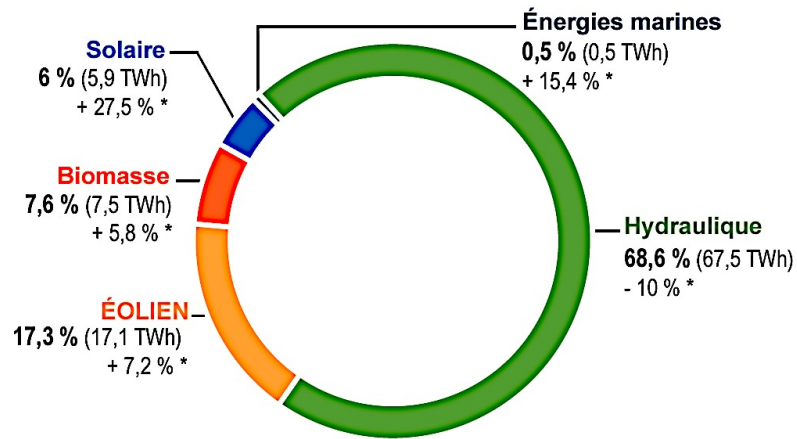
III. Etude des hélices

- A. Puissance absorbée par les hélices
- B. ω_l vitesse de rotation limite des hélices

IV. Conclusion

I.

L'énergie éolienne en quelques chiffres



Part de l'éolien dans la production française d'électricité d'origine renouvelable en 2014

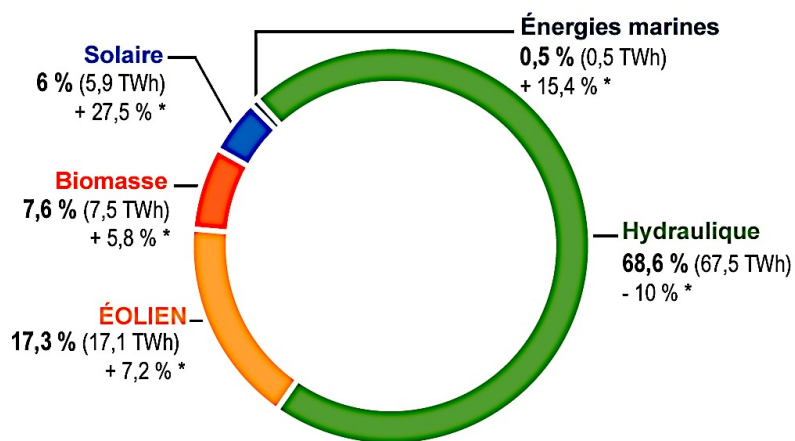
* par rapport à 2013

(Statistiques de l'électricité en France 2014 RTE - chiffres de production 2014)

© EDF

I.

L'énergie éolienne en quelques chiffres

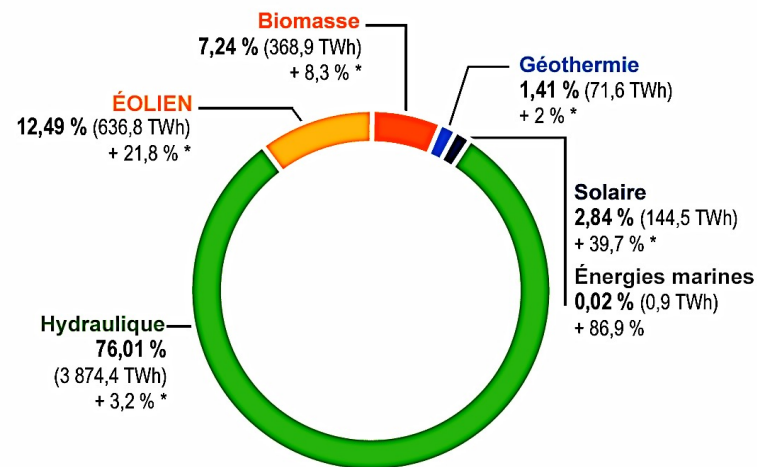


Part de l'éolien dans la production française d'électricité d'origine renouvelable en 2014

* par rapport à 2013

(Statistiques de l'électricité en France 2014 RTE - chiffres de production 2014)

© EDF



Part de l'éolien dans la production mondiale d'électricité d'origine renouvelable en 2013

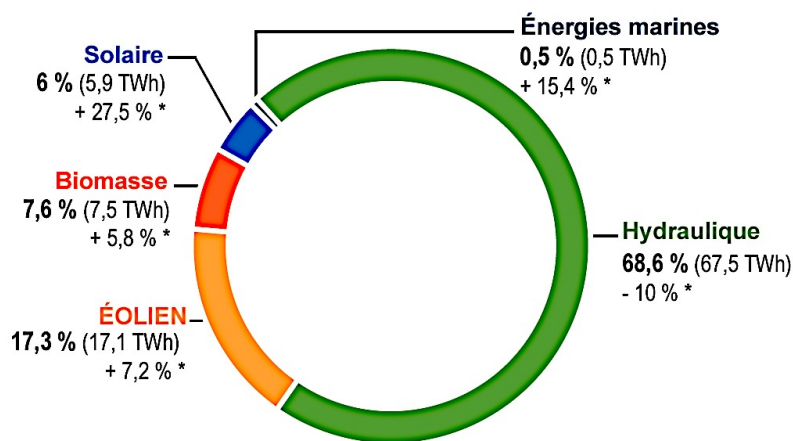
* par rapport à 2012

(International Energy Agency Statistics - chiffres de production 2013)

© EDF

I.

L'énergie éolienne en quelques chiffres

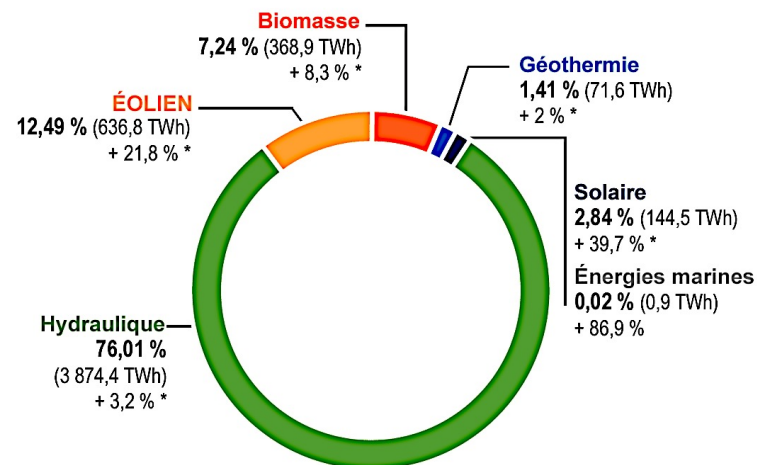


Part de l'éolien dans la production française d'électricité d'origine renouvelable en 2014

* par rapport à 2013

(Statistiques de l'électricité en France 2014 RTE - chiffres de production 2014)

© EDF



Part de l'éolien dans la production mondiale d'électricité d'origine renouvelable en 2013

* par rapport à 2012

(International Energy Agency Statistics - chiffres de production 2013)

© EDF

Par pays, en TWh, en 2013 (International Energy Agency Statistics)		
États-Unis	170	26,7 %
Chine	141	22,2 %
Espagne	54	8,5 %
Allemagne	52	8,1 %
Inde	34	5,3 %
Royaume-Uni	28	4,5 %
France	16	2,5 %
Italie	15	2,3 %
Portugal	12	1,9 %
Canada	12	1,8 %

Sommaire

I. Introduction

II. Mise en place du modèle de l'écoulement

- A. Etude théorique de l'écoulement et limite de Betz
- B. Validation du modèle

III. Etude des hélices

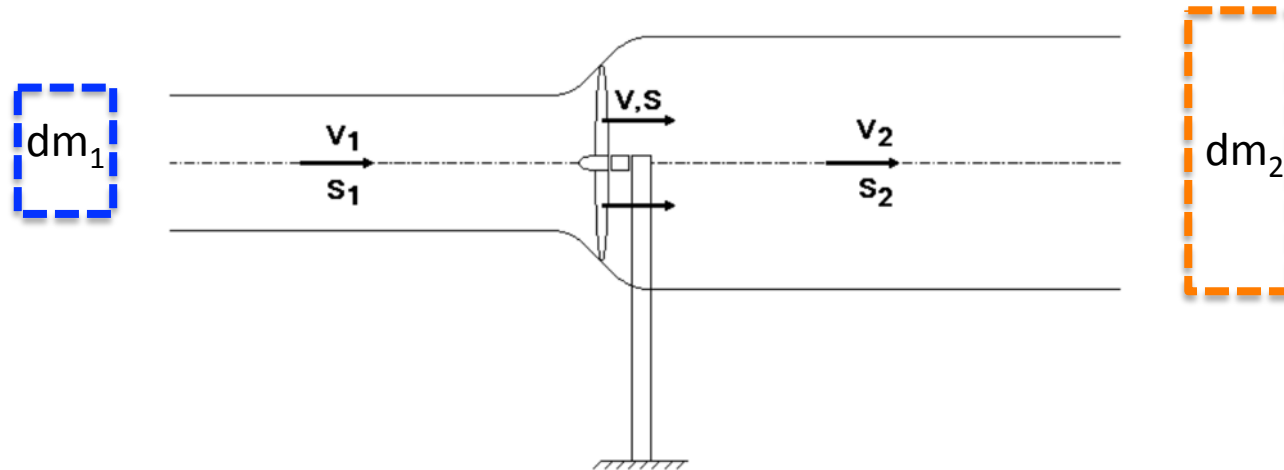
- A. Puissance absorbée par les hélices
- B. ω_l vitesse de rotation limite des hélices

IV. Conclusion

II.

A.

Etude théorique



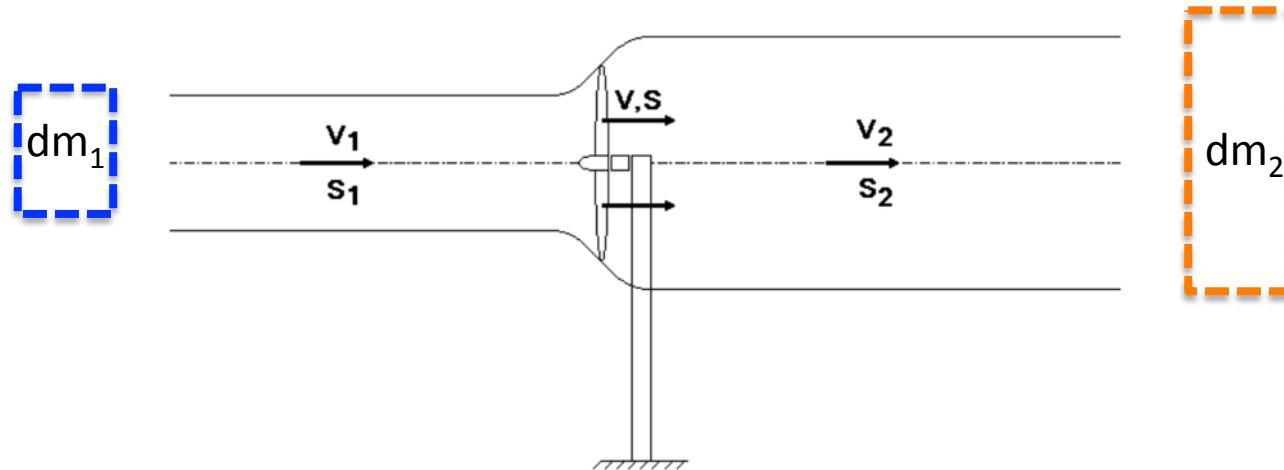
Hypothèses:

- L'air est un fluide parfait et incompressible
- Le régime est stationnaire
- On néglige la pesanteur

II.

A.

Etude théorique



Hypothèses:

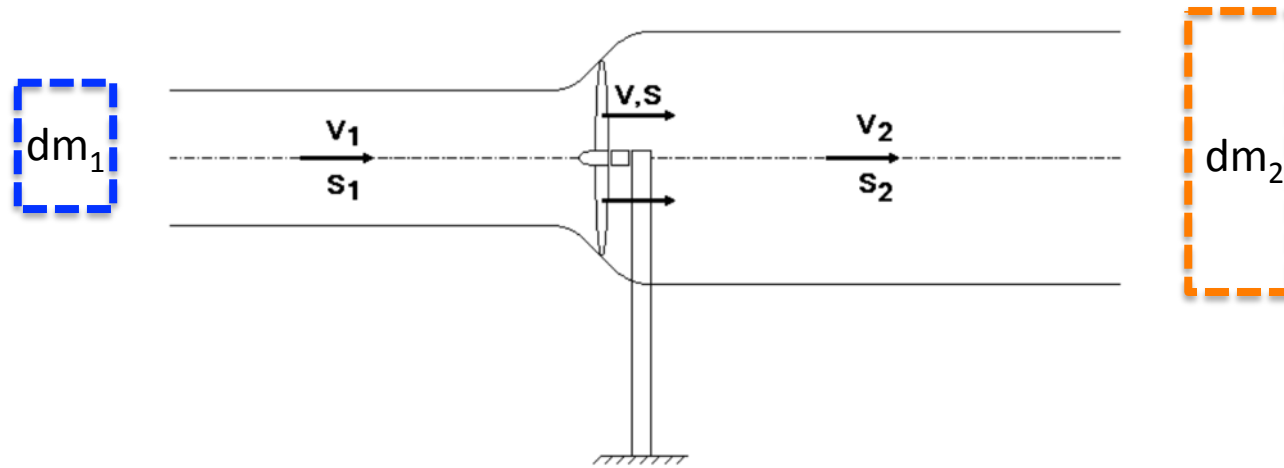
- L'air est un fluide parfait et incompressible
- Le régime est stationnaire
- On néglige la pesanteur

On définit le système S' fermé composé: - à t de la veine et de la masse dm_1
- à $t+dt$ de la veine et de la masse dm_2

II.

A.

Etude théorique



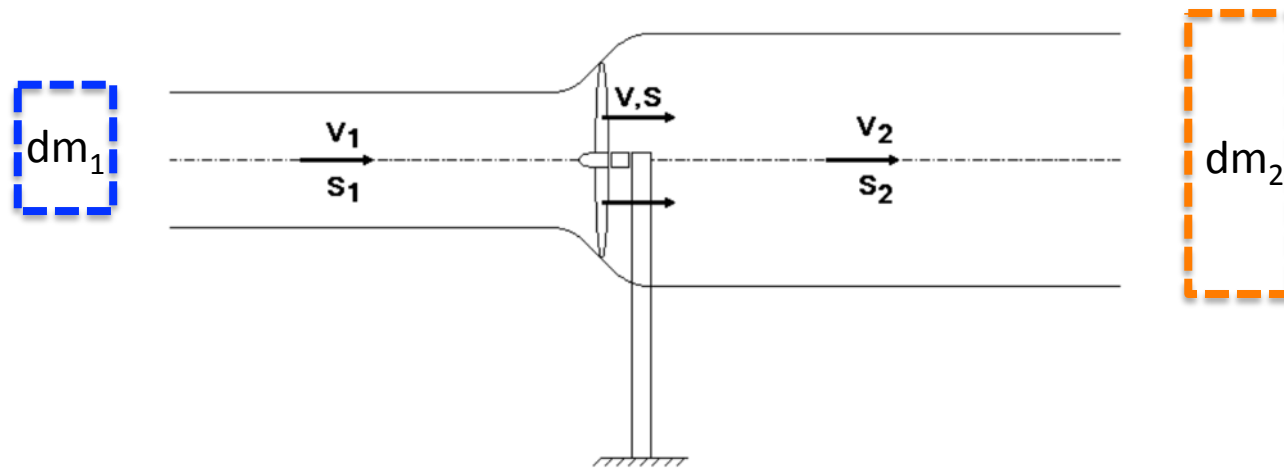
En appliquant le théorème de l'énergie cinétique au système fermé S' dans le référentiel galiléen du laboratoire on détermine P la puissance reçue par l'hélice:

$$P = \frac{1}{4} \rho S (V_1 + V_2)^2 (V_1 - V_2)$$

II.

A.

Etude théorique



En appliquant le théorème de l'énergie cinétique au système fermé S' dans le référentiel galiléen du laboratoire on détermine P la puissance reçue par l'hélice:

$$P = \frac{1}{4} \rho S (V_1 + V_2)^2 (V_1 - V_2)$$

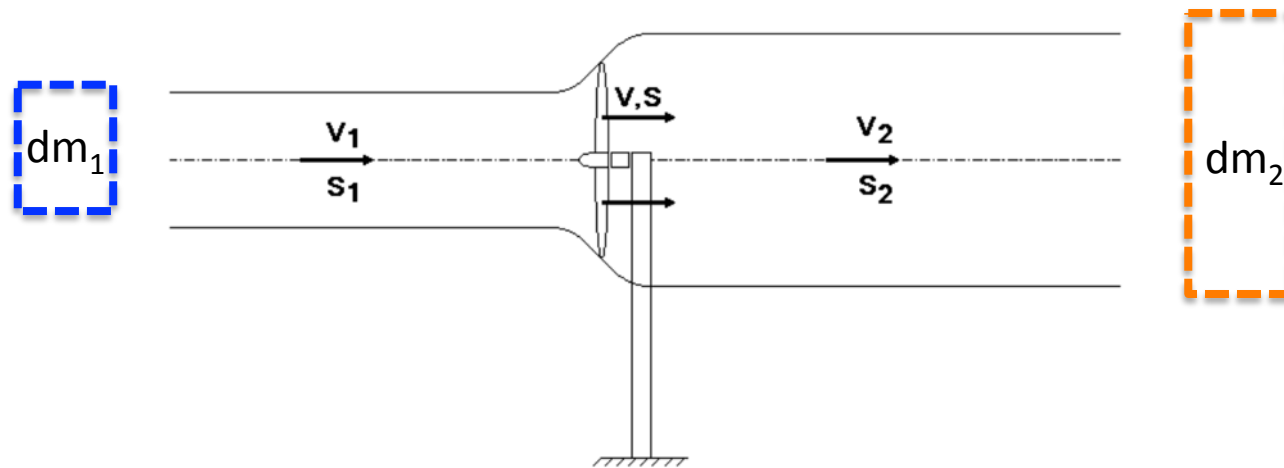
On note Q la puissance cinétique de l'air au niveau du rotor:

$$Q = \frac{1}{2} \rho S (V_1)^3$$

II.

A.

Etude théorique



En appliquant le théorème de l'énergie cinétique au système fermé S' dans le référentiel galiléen du laboratoire on détermine P la puissance reçue par l'hélice:

$$P = \frac{1}{4} \rho S (V_1 + V_2)^2 (V_1 - V_2)$$

On note Q la puissance cinétique de l'air au niveau du rotor:

$$Q = \frac{1}{2} \rho S (V_1)^3$$

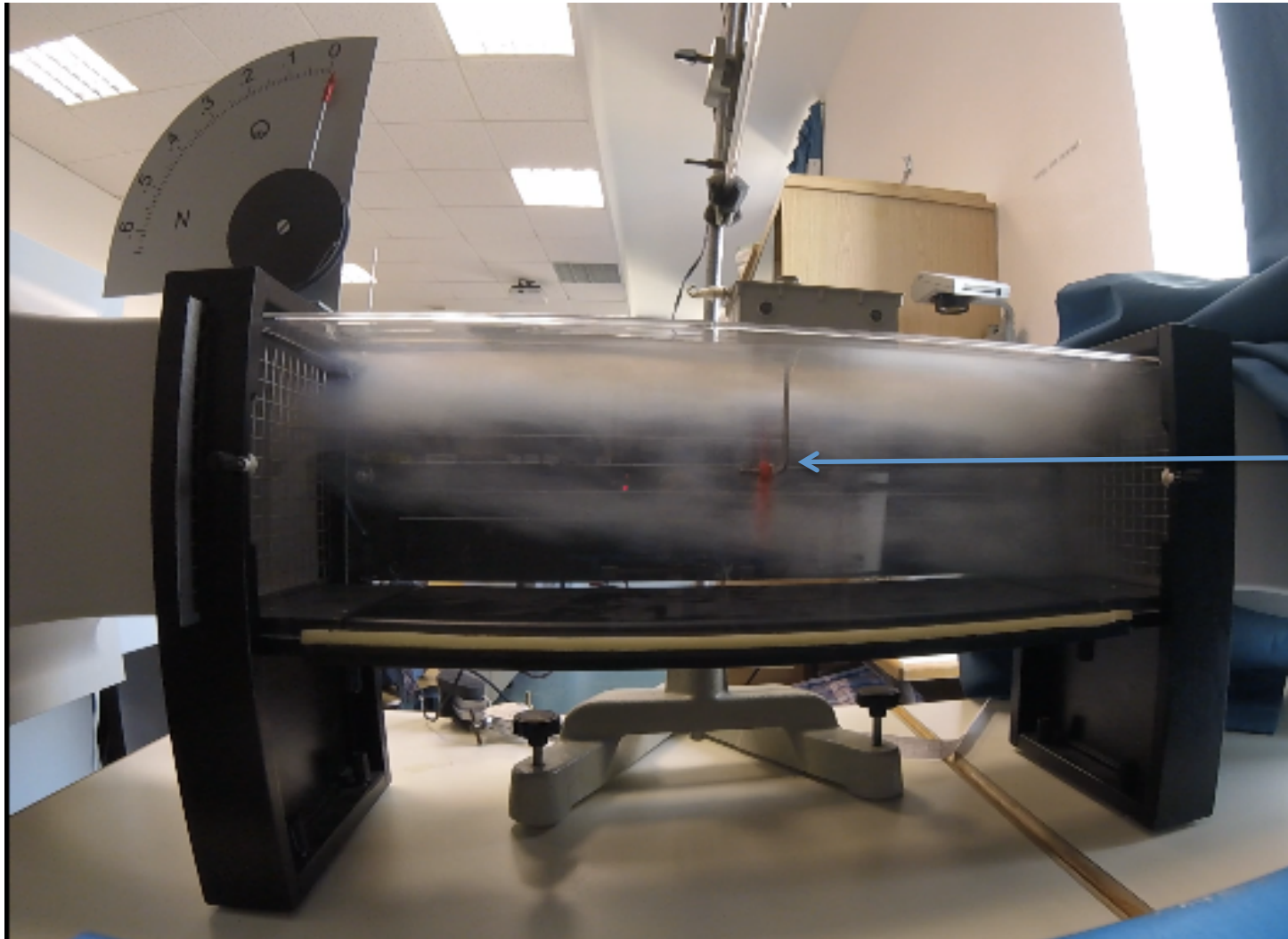
Enfin on définit C_p le coefficient de puissance: $C_p = \frac{P}{Q}$

Et on détermine la limite Betz: $C_{p_{\max}} = \frac{16}{27} = 0,5923$ pour $V_1 = 3V_2$

II.

B. Mise en évidence de la dilatation de la veine

1^{ère} expérience: avec un fumigène

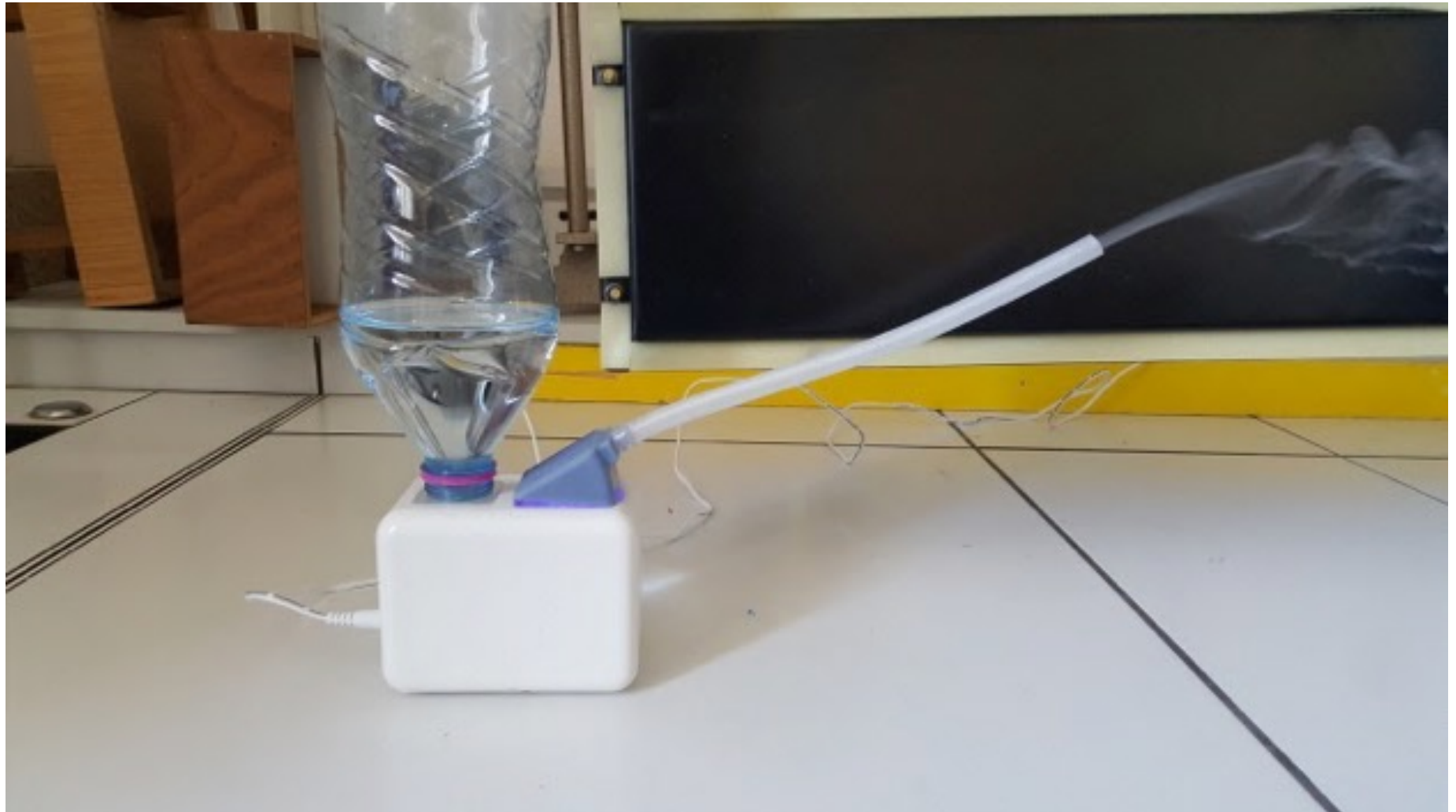


Hélice

II.

B. Mise en évidence de la dilatation de la veine

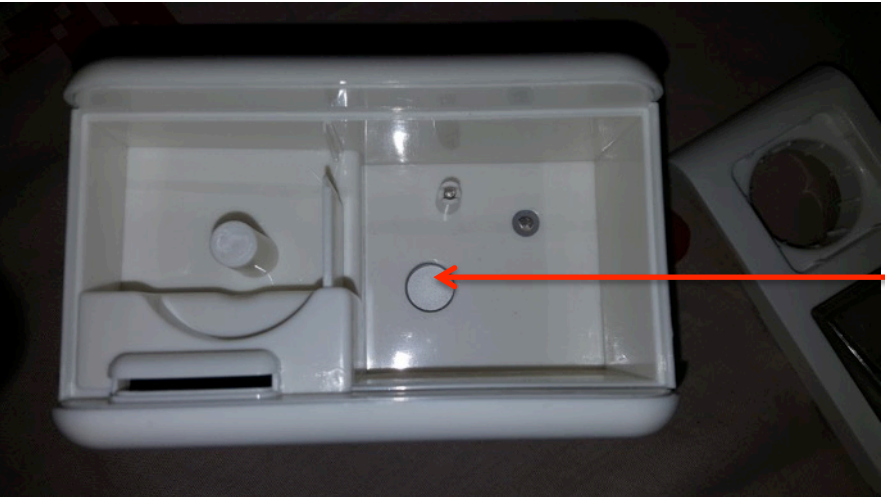
2^{ème} expérience: avec brumisateurs A4 technologie



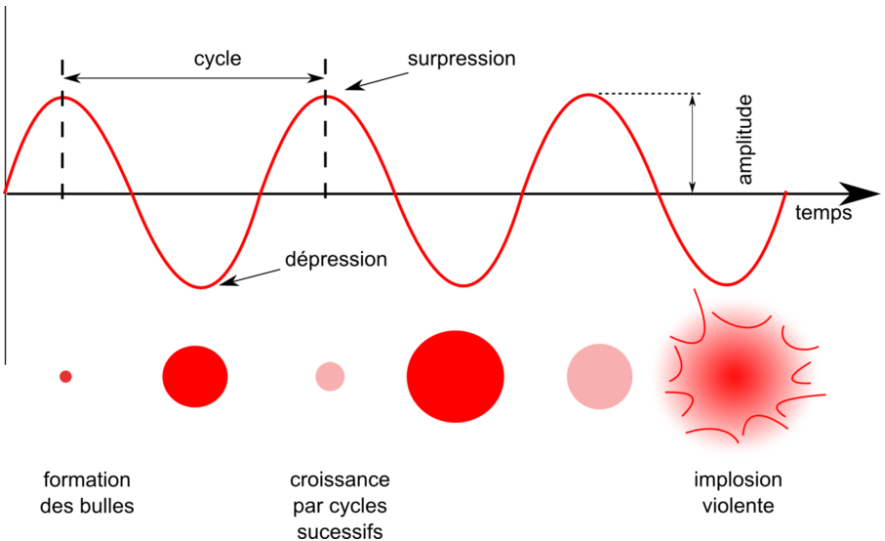
II.

B. Mise en évidence de la dilatation de la veine

Fonctionnement du brumisateur A4 technologie:



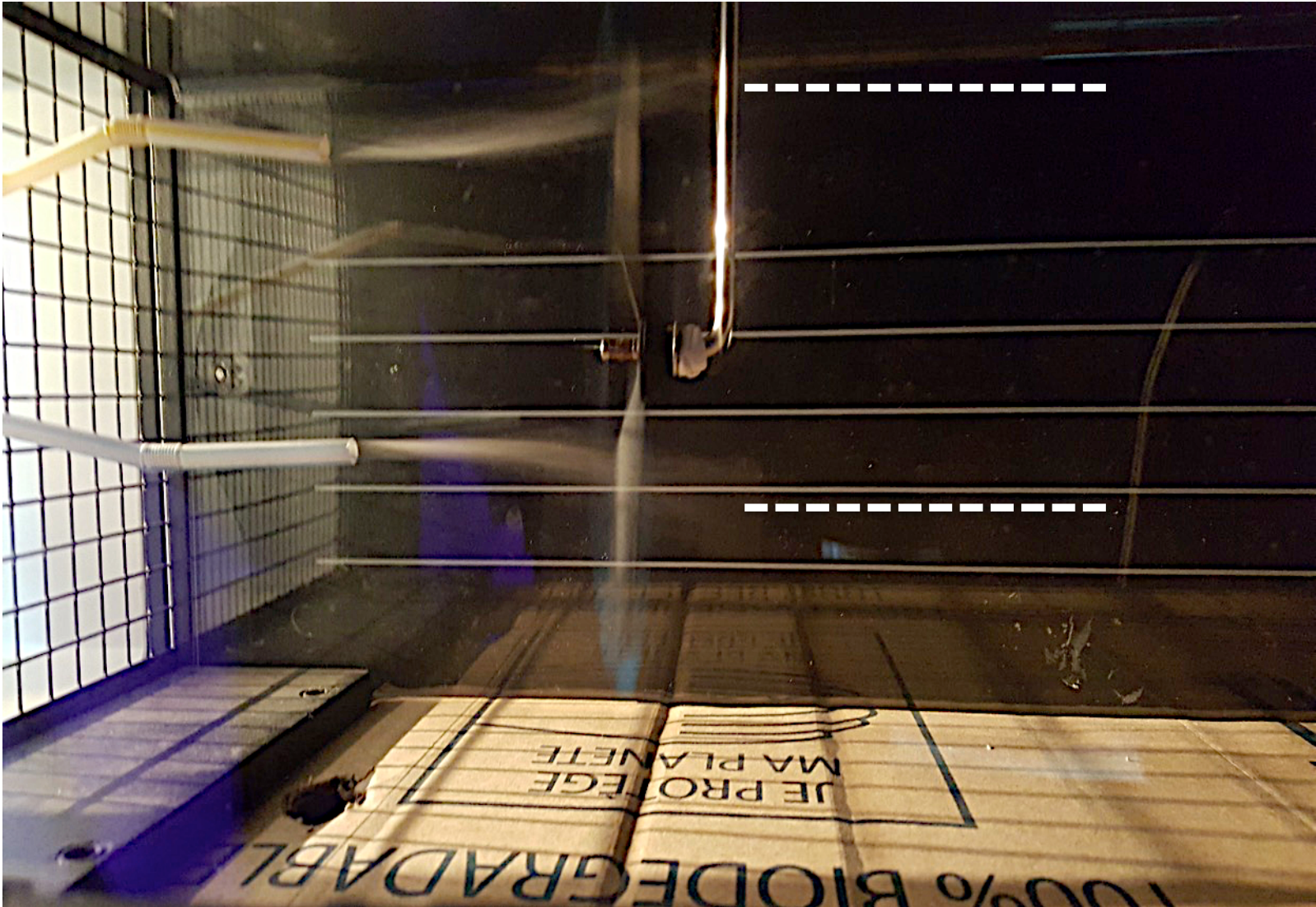
Pièce piézoélectrique en céramique oscillant avec une fréquence $f \simeq 1\text{MHz}$



II.

B. Mise en évidence de la dilatation de la veine

Observation de la dilatation de la veine



Sommaire

I. Introduction

II. Mise en place du modèle de l'écoulement

- A. Etude théorique de l'écoulement et limite de Betz
- B. Validation du modèle

III. Etude des hélices

- A. Puissance absorbée par les hélices
- B. ω_l vitesse de rotation limite des hélices

IV. Conclusion

III.

A.



1 2 3 4 5

- Fabriquées à l'aide d'une imprimante 3D: 4 et 5
- Achetées dans un magasin d'aéromodélisme: 1, 2 et 3



On s'attend donc à avoir un meilleur C_p pour 1, 2 et 3

III.

A. Expérience de détermination du C_p de chaque hélice

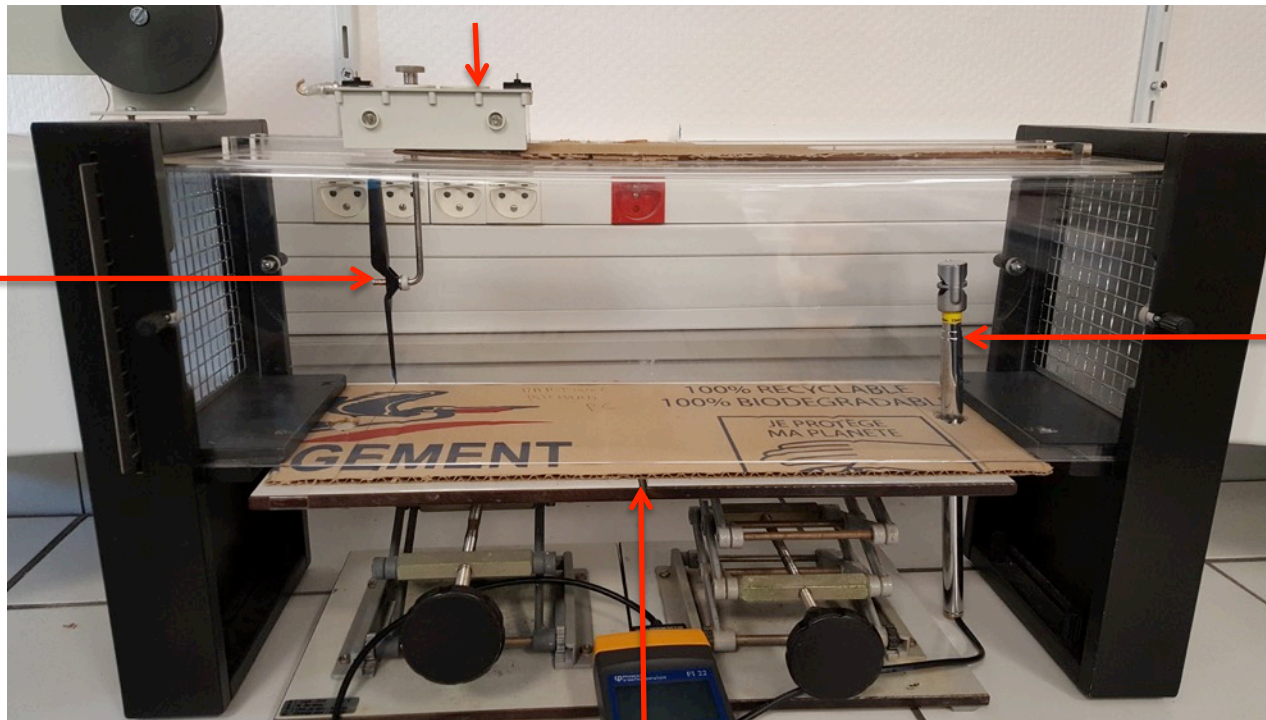
Appareils utilisés:

- Tunnel aérodynamique Leybold Didactic
- Anémomètre à sonde déportée

Support

Hélice

Anémomètre



Carton isolant plaqué à l'aide de
supports élévateurs

III.

A.

- Expérience réalisée à $V_1=4,0 \text{ m.s}^{-1}$

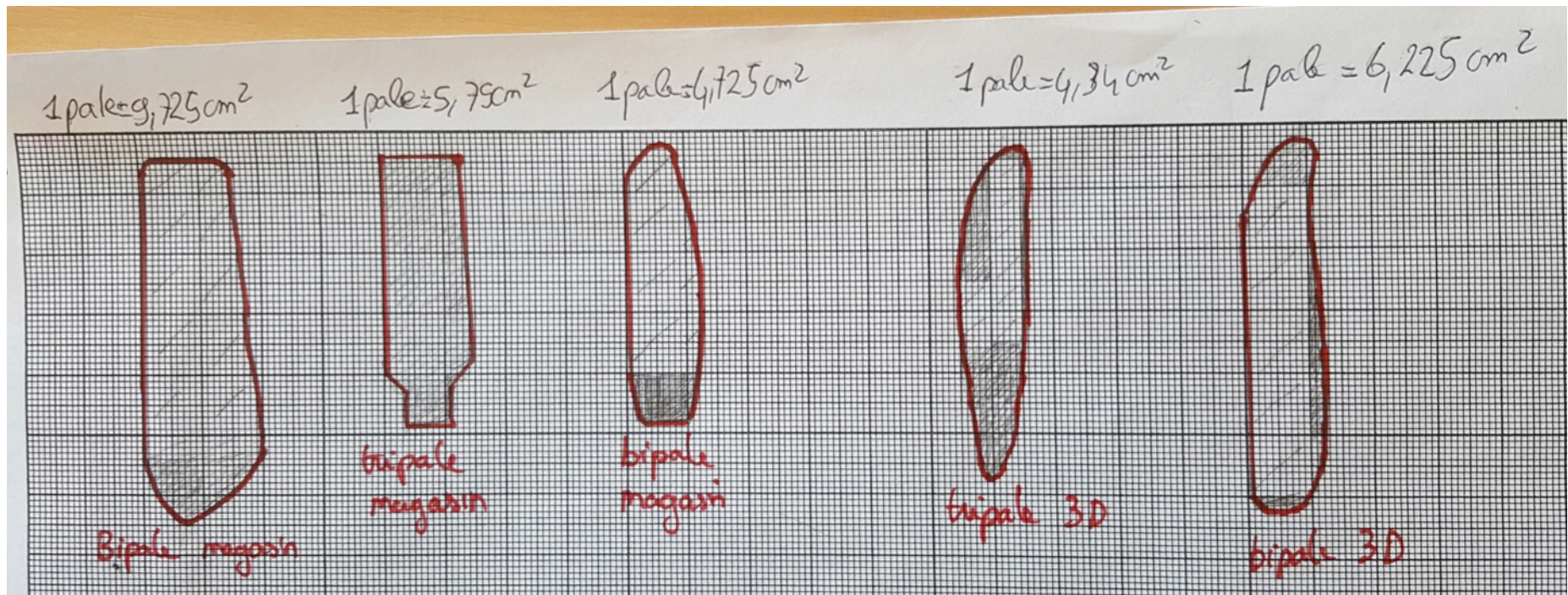
Hélices	S: Surface des pales (cm ²)	Coefficient de puissance CP
1. Bipale noire	19,45	0,409
2.Tripale noire	17,25	0,324
3.Bipale orange	9,45	0,183
4.Tripale orange	13,02	0,095
5. Bipale jaune	12,45	0,049

- Expérience réalisée à $V_1=2,2 \text{ m.s}^{-1}$

Hélices	S: Surface des pales (cm ²)	Coefficient de puissance CP
1. Bipale noire	19,45	0,518
2.Tripale noire	17,25	0,407
3.Bipale orange	9,45	0,239
4.Tripale orange	13,02	0,202
5. Bipale jaune	12,45	0,166

III.

A.



- Gros carreau : 1cm²
- Petit carreau : 1mm²

III.

A.

Facteurs influençant le rendement des hélices


1) Influence de la surface des pales

Hélices	S: Surface des pales (cm ²)	Coefficient de puissance CP	$\frac{C_p}{S} \times 10^2$
1. Bipale noire	19,45	0,409	2,1
2. Tripale noire	17,25	0,324	1,9
3. Bipale orange	9,45	0,183	1,9
4. Tripale orange	13,02	0,095	0,73
5. Bipale jaune	12,45	0,049	0,4

Expérience réalisée à $V_1 = 4,0 \text{ m.s}^{-1}$

Hélices	S: Surface des pales (cm ²)	Coefficient de puissance CP	$\frac{C_p}{S} \times 10^2$
1. Bipale noire	19,45	0,518	2,7
2. Tripale noire	17,25	0,407	2,4
3. Bipale orange	9,45	0,239	2,5
4. Tripale orange	13,02	0,202	1,6
5. Bipale jaune	12,45	0,166	1,4

Expérience réalisée à $V_1 = 2,2 \text{ m.s}^{-1}$



Les différentes hélices ont le même C_p par unité de surface

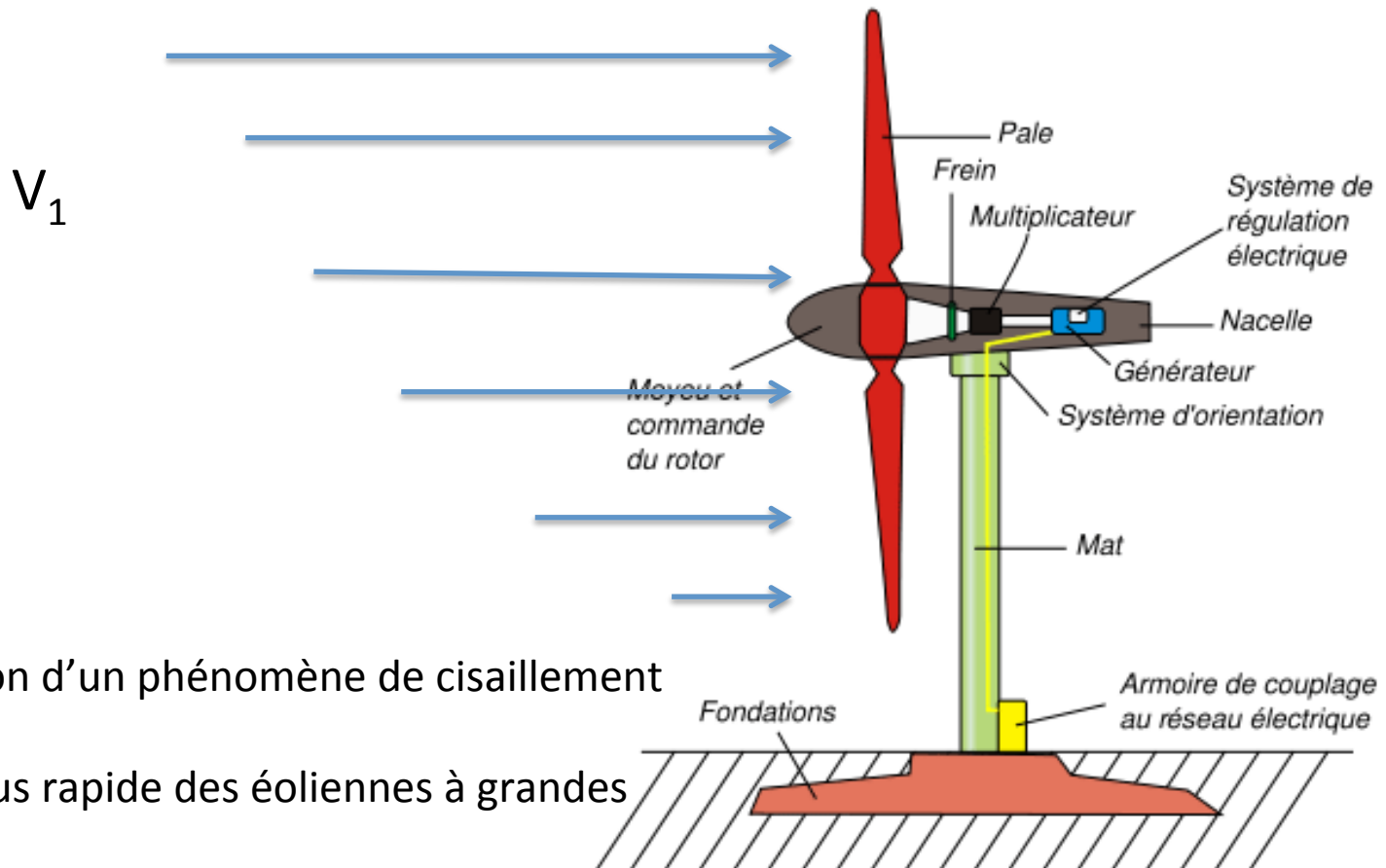
Plus la surface des pales d'une hélice est grande et plus l'hélice absorbera l'énergie cinétique de l'air

III.

A.

Facteurs influençant le rendement des hélices

2) Influence de l'envergure des pales et du nombre de pales



III.

B. Vitesse de rotation limite ω_l des différentes hélices

Appareil utilisé:

- Tachymètre Française d'instrumentation

Diode infrarouge et capteur infrarouge

Affichage du nombre de tours/min

Pastille réfléchissante à coller sur l'hélice



III.

B. Vitesse de rotation limite ω_l des différentes hélices

- Fonctionnement du Tachymètre Française d'instrumentation



Rayon infrarouge incident

Rayon infrarouge réfléchi



III.

B. Vitesse de rotation limite ω_l des différentes hélices

Hélices	S: Surface des pales (cm ²)	ω_l (rad.s ⁻¹)	P recue (mW)	Γ en N.m
1. Bipale noire	19,45	137,74	40,24	0,292
2. Tripale noire	17,25	142,66	17,60	0,123
3. Bipale orange	9,45	179,61	17,46	0,097
4. Tripale orange	13,02	143,39	11,96	0,083
5. Bipale jaune	12,45	141,30	12,49	0,088

- $V_1 = 2,2 \text{ m.s}^{-1}$

$$P = \omega_L \Gamma$$

Lorsque S augmente ω_l diminue par conséquent Γ augmente

 apparition d'une vitesse de rotation limite qui prouve que l'air est un fluide visqueux. Une partie de l'énergie de l'éolienne est dissipée dû aux frottements.

Sommaire

I. Introduction

II. Mise en place du modèle de l'écoulement

- A. Etude théorique de l'écoulement et limite de Betz
- B. Validation du modèle

III. Etude des hélices

- A. Puissance absorbée par les hélices
- B. ω_l vitesse de rotation limite des hélices

IV. Conclusion

IV.

Résultats obtenus

