

## 3<sup>ème</sup> Séminaire MAPE

### « Réduction de la Mortalité Aviaire dans les Parcs Éoliens en exploitation »

WP3 R3 : Déterminer les distances de détection minimales des oiseaux pour éviter les collisions

Julie Fluhr

30 mars 2021

➤ **Objectif MAPE = Concilier développement éolien et conservation de la biodiversité**




**Volet  
Recherche**

WP1 : Comprendre les conditions favorisant les collisions d'oiseaux

WP2 : Conséquences des collisions sur les populations d'oiseaux

**WP3** : Informations pour améliorer les solutions de réduction de la mortalité aviaire

- **R3: Déterminer distances de détection minimales des oiseaux pour éviter collisions**
- R4: Comprendre la perception des éoliennes par les oiseaux
- R5: Identifier meilleurs méthodes d'effarouchement

**Volet  
Protocole**

WP4 : Evaluer les dispositifs de détection actuels

→ Éviter / **RÉDUIRE** / Compenser les impacts de l'éolien sur l'avifaune



⇒ Dispositif de détection automatisés des oiseaux (70 - 80 parcs en France)

- Effarouchement auditif
- Ralentissement / arrêt du rotor

EFFICACITÉ



Distance de détection  
de l'oiseau

Distance détection minimale  $\sim T_{\text{décision}}$



**Détection + classification**  
de la cible

**Analyse risque collision**  $\sim$   
trajectoire, vitesse, altitude

**SYSTÈME DE  
DÉTECTION**



Distance détection minimale  $\sim T_{\text{décision}} + T_{\text{signal}}$



**Détection + classification**  
de la cible

**Analyse risque collision**  $\sim$   
trajectoire, vitesse, altitude

**SYSTÈME DE**  
**DÉTECTION / RÉACTION**

**Envoi de la commande**  
Système détection => SCADA

**Traitement de la commande**  
SCADA => éolienne

**ÉOLIENNE**



Distance détection minimale  $\sim T_{\text{décision}} + T_{\text{signal}} + T_{\text{rotor}}$

**Détection + classification**  
de la cible

**Analyse risque collision**  $\sim$   
trajectoire, vitesse, altitude

**SYSTÈME DE**  
**DÉTECTION / RÉACTION**

**Envoi de la commande**  
Système détection => SCADA

**Traitement de la commande**  
SCADA => éolienne

**ÉOLIENNE**

**Ralentissement/arrêt rotor**  $\sim$   
modèle turbine + vitesse vent

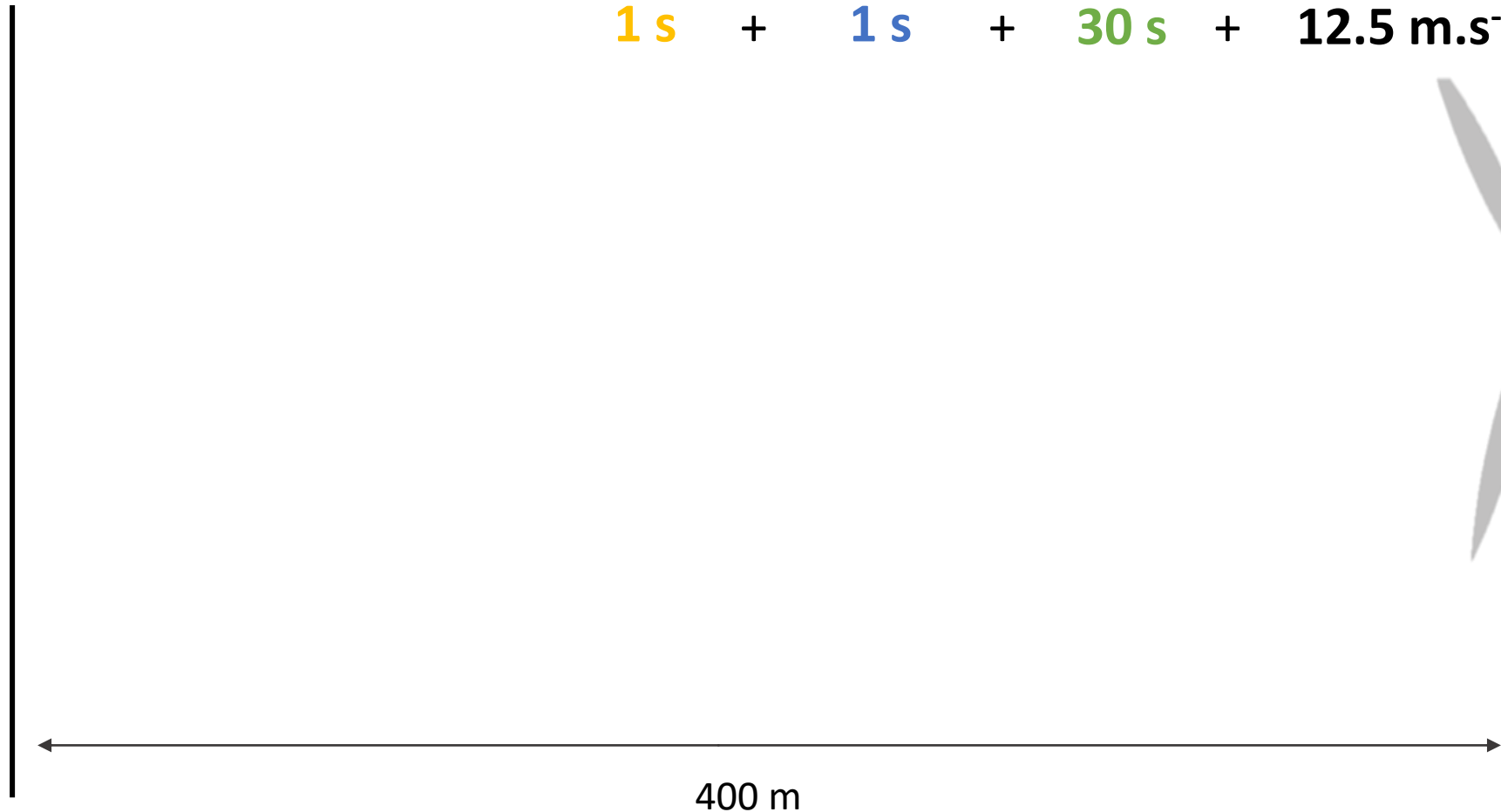


Distance détection minimale  $\sim T_{\text{décision}} + T_{\text{signal}} + T_{\text{rotor}} + \text{Vitesse de vol}$   
 $1 \text{ s} + 1 \text{ s} + 30 \text{ s}$



Distance détection minimale  $\sim T_{\text{décision}} + T_{\text{signal}} + T_{\text{rotor}} + \text{Vitesse de vol}$

**1 s** + **1 s** + **30 s** + **12.5 m.s<sup>-1</sup>**





Distance détection minimale  $\sim T_{\text{décision}} + T_{\text{signal}} + T_{\text{rotor}} + \text{Vitesse de vol}$

**1 s** + **1 s** + **30 s** + **9.5 m.s<sup>-1</sup>**



300 m



Distance détection minimale  $\sim T_{\text{décision}} + T_{\text{signal}} + T_{\text{rotor}} + \text{Vitesse de vol}$



**Détection + classification**  
de la cible

**Analyse risque collision**  $\sim$   
trajectoire, vitesse, altitude

**Envoi de la commande**  
Système détection => SCADA

**Traitement de la commande**  
SCADA => éolienne

**ÉOLIENNE**

**Ralentissement/arrêt rotor**  $\sim$   
modèle turbine + vitesse vent



SYSTÈME DE  
DÉTECTION / RÉACTION

**Temps ralentissement/arrêt rotor** ~ Modèle turbine + Vitesse vent

⇒ Echanges avec des turbiniers



**Temps ralentissement/arrêt rotor ~ Modèle turbine + Vitesse vent**

⇒ Echanges avec des turbiniers

⇒ Proposition d'un protocole aux exploitants éoliens pour mesurer  $T_{rotor}$

Modèle turbine	Vitesse vent (m.s <sup>-1</sup> )	$T_{rotor}$ (s)	Vitesse rotation 'résiduelle' (m.s <sup>-1</sup> )
AAAA	< 10	35	12
AAAA	[10; 20]	31	12.5
AAAA	> 20	32	14.5

*Valeurs arbitraires*

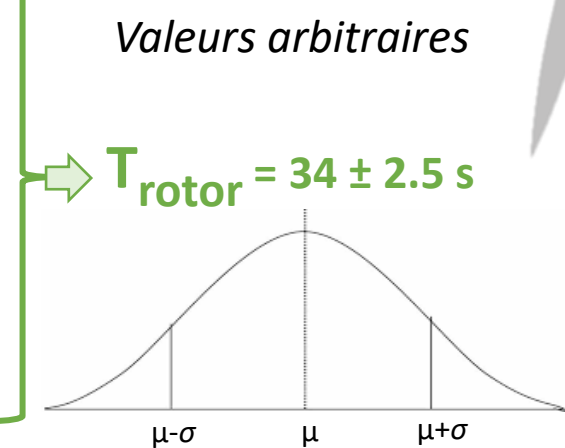


**Temps ralentissement/arrêt rotor ~ Modèle turbine + Vitesse vent**

⇒ Echanges avec des turbiniers

⇒ Proposition d'un protocole aux exploitants éoliens pour mesurer  $T_{rotor}$

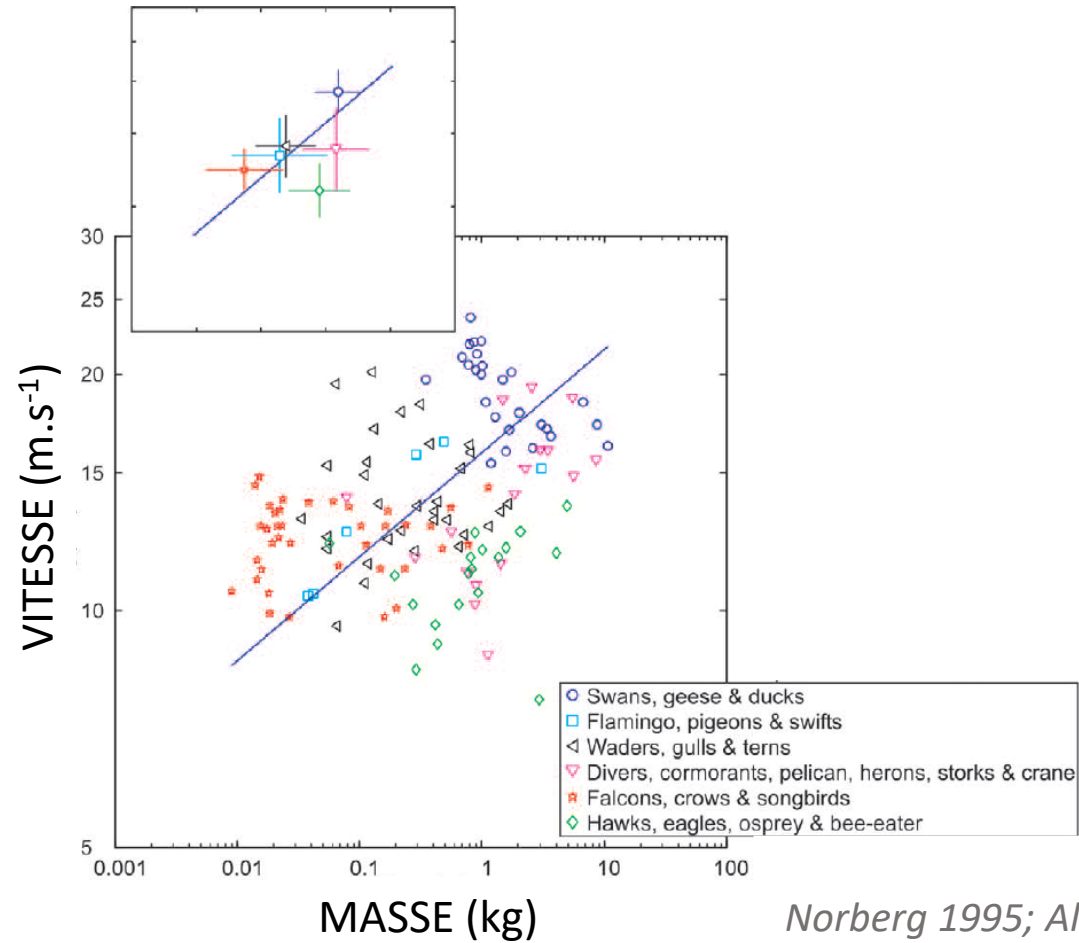
Modèle turbine	Vitesse vent (m.s <sup>-1</sup> )	$T_{rotor}$ (s)	Vitesse rotation 'résiduelle' (m.s <sup>-1</sup> )
AAAA	< 10	<b>35</b>	12
AAAA	[10; 20]	<b>31</b>	12.5
AAAA	> 20	<b>32</b>	14.5
BBBB	< 10	<b>38</b>	13
BBBB	[10; 20]	<b>34</b>	14
BBBB	> 20	<b>35</b>	15.5



Vitesse de vol ~

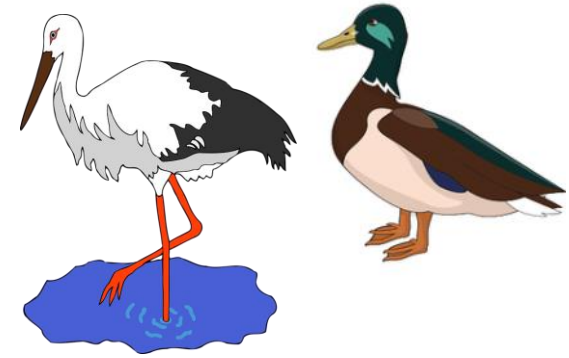
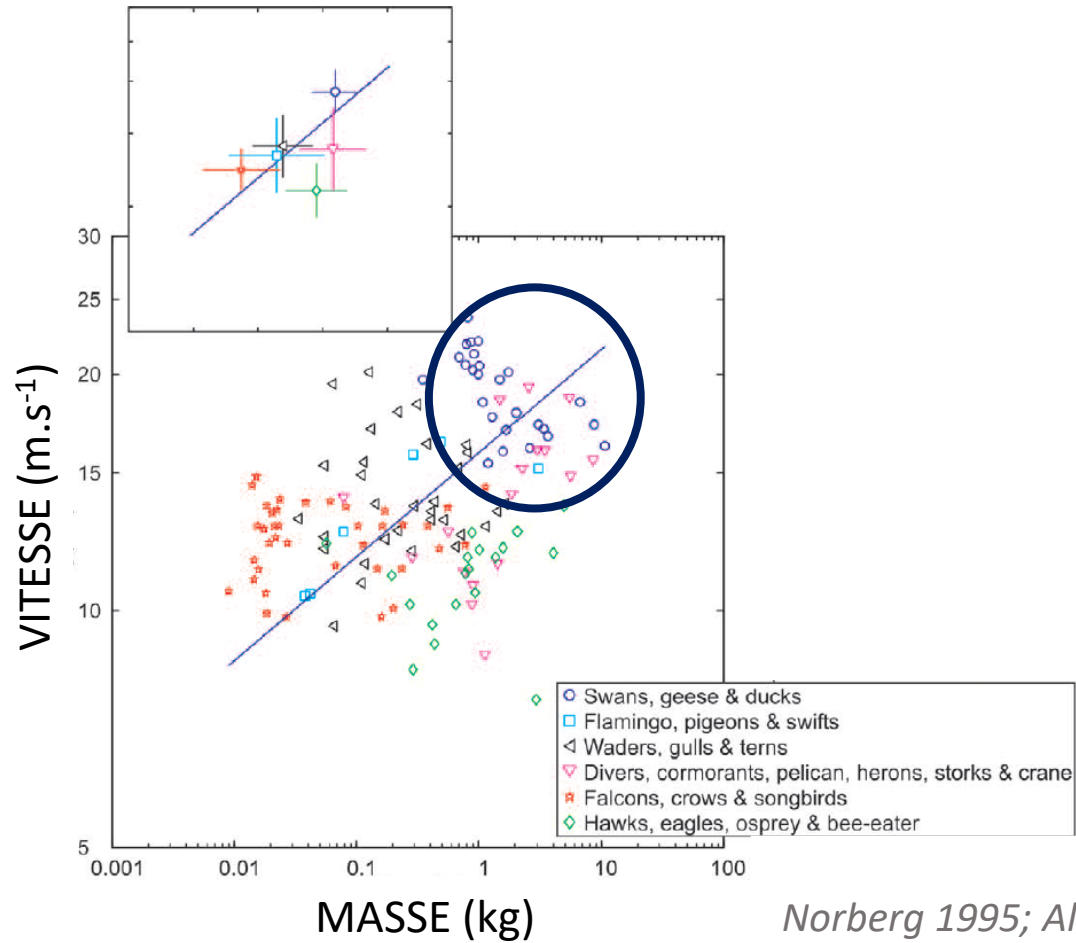


Vitesse de vol ~ Morphologie



Norberg 1995; Alerstam et al. 2007

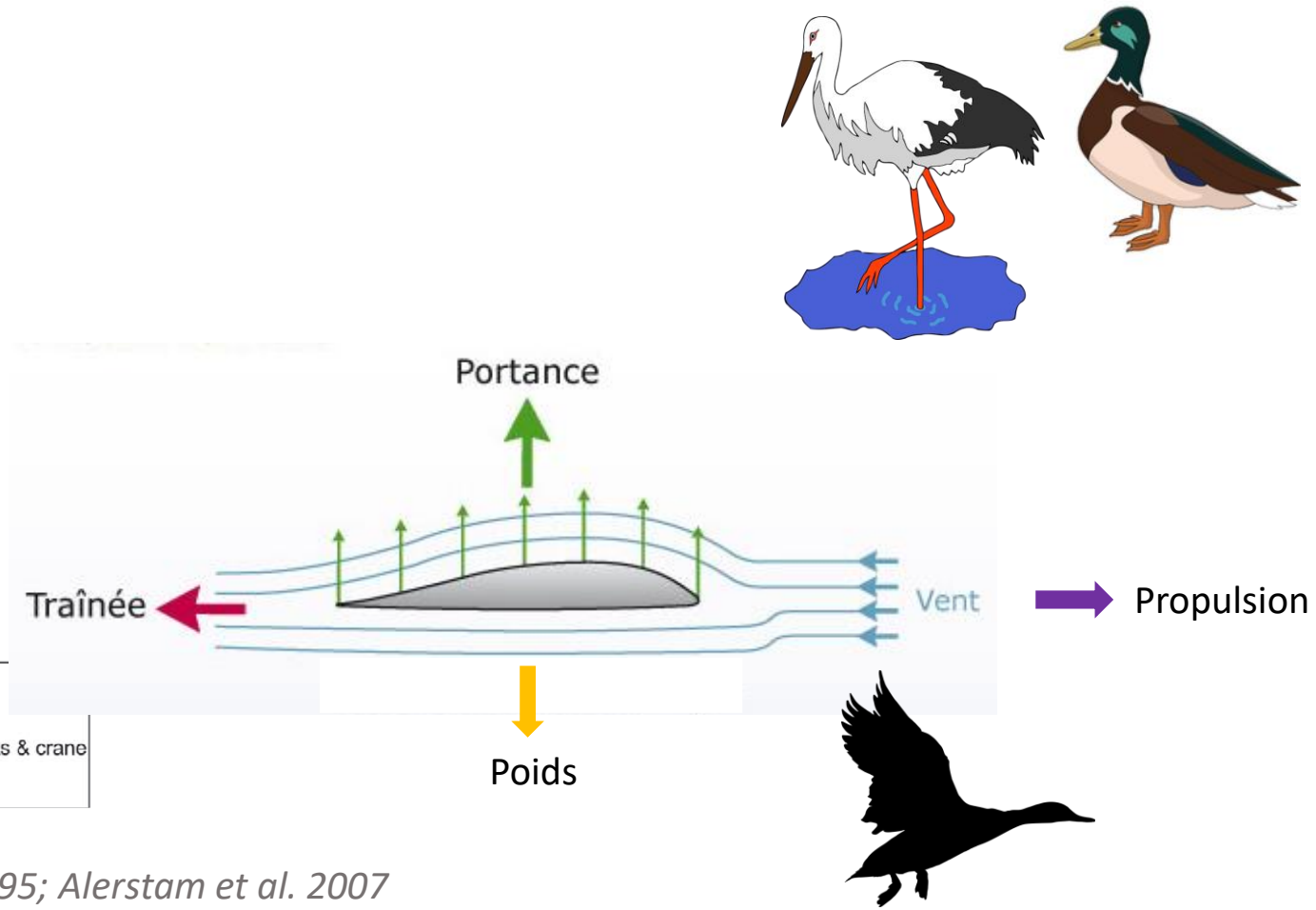
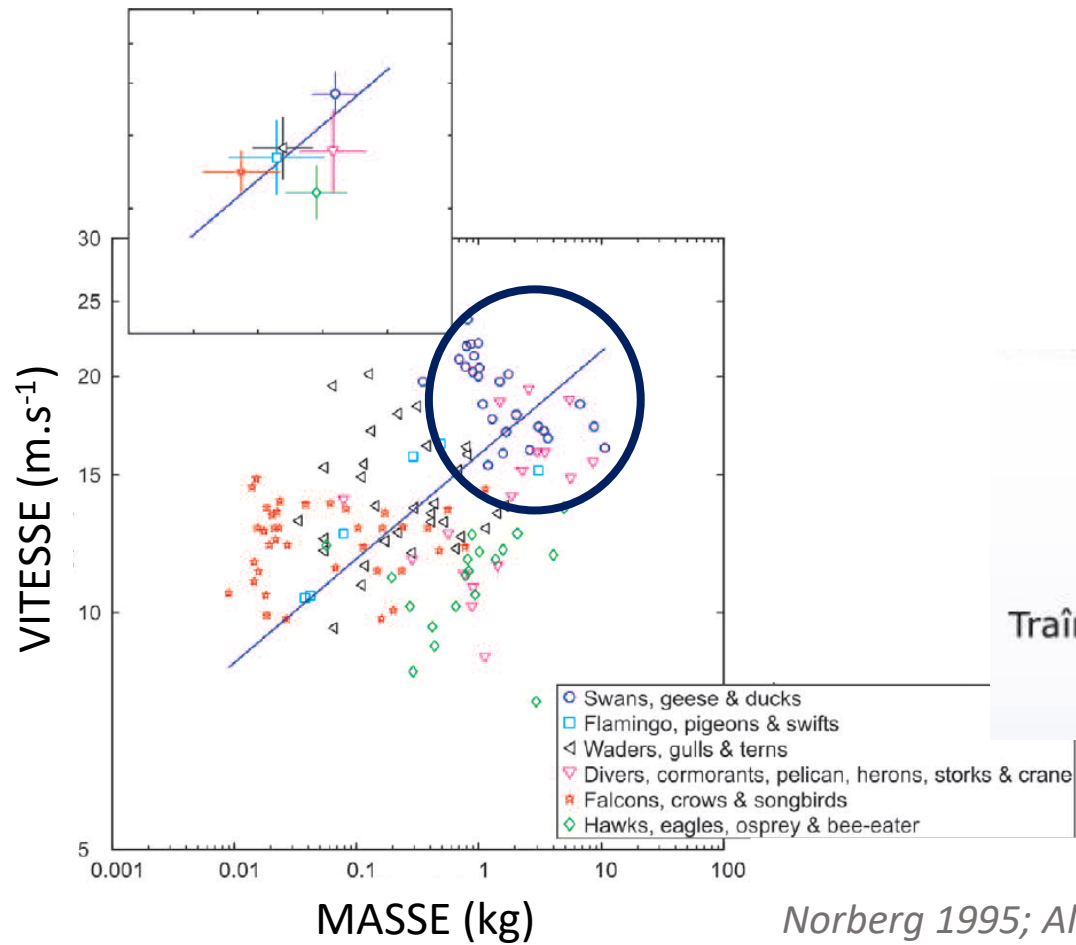
Vitesse de vol ~ Morphologie



Norberg 1995; Alerstam et al. 2007

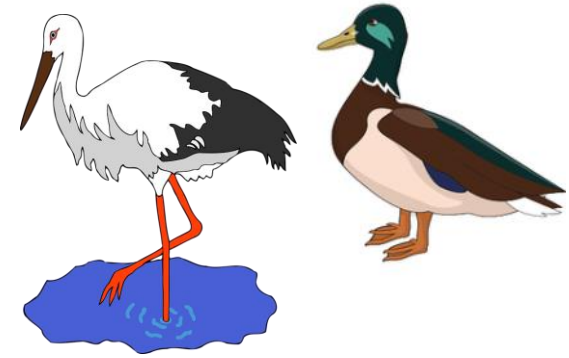
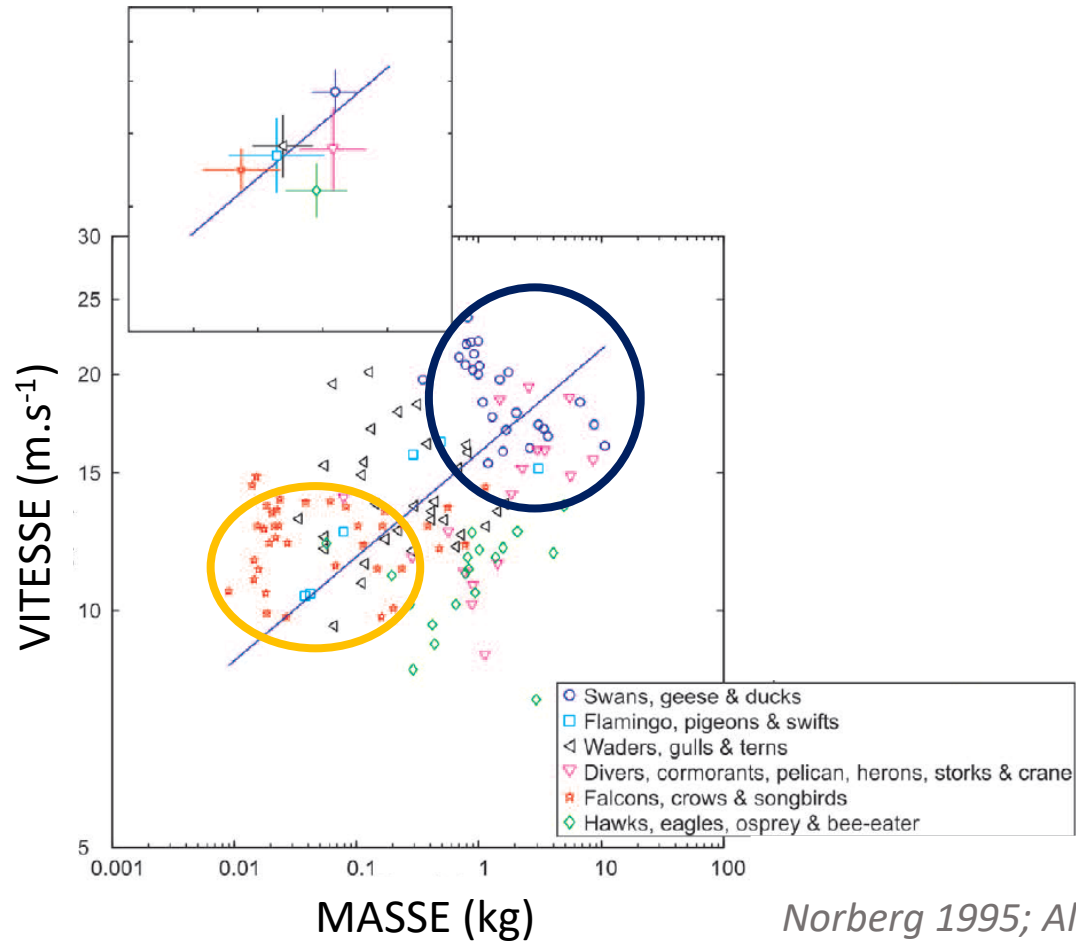


Vitesse de vol ~ Morphologie



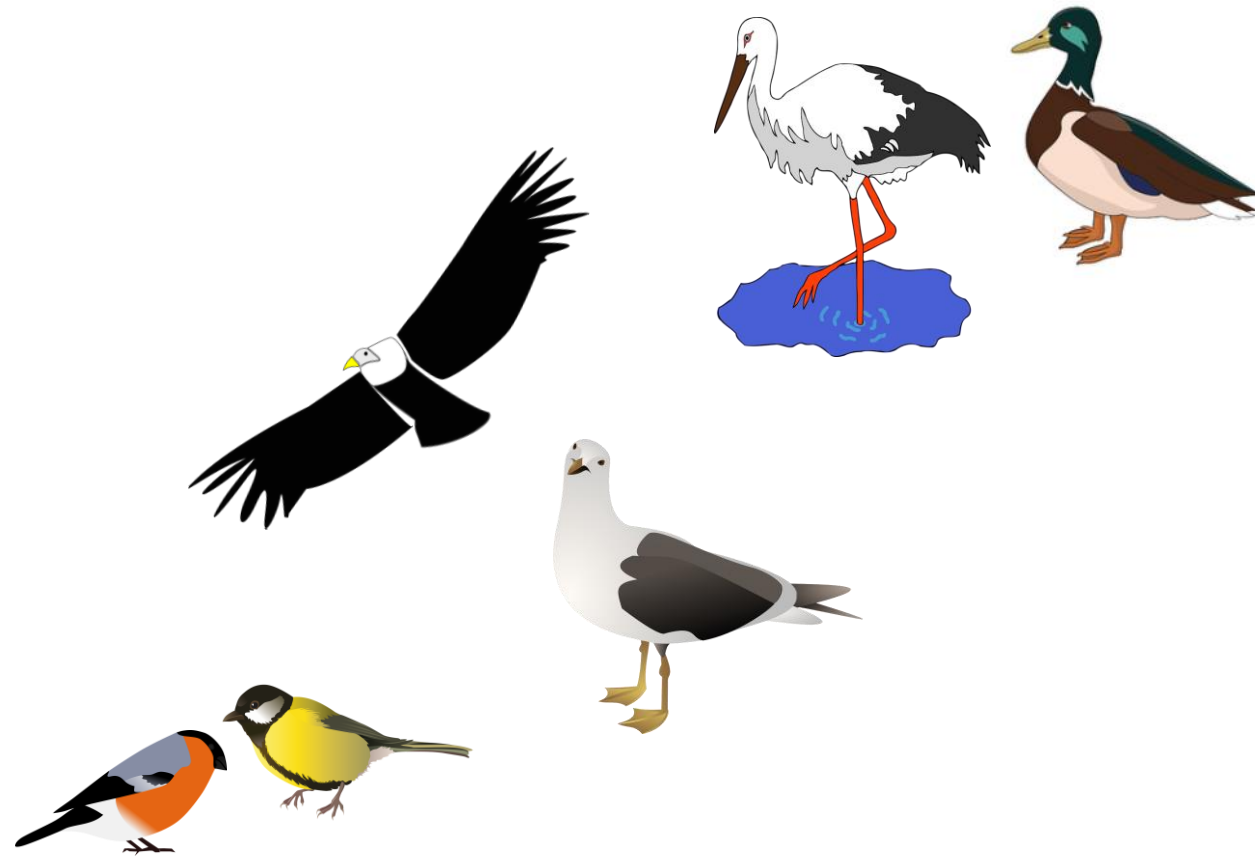
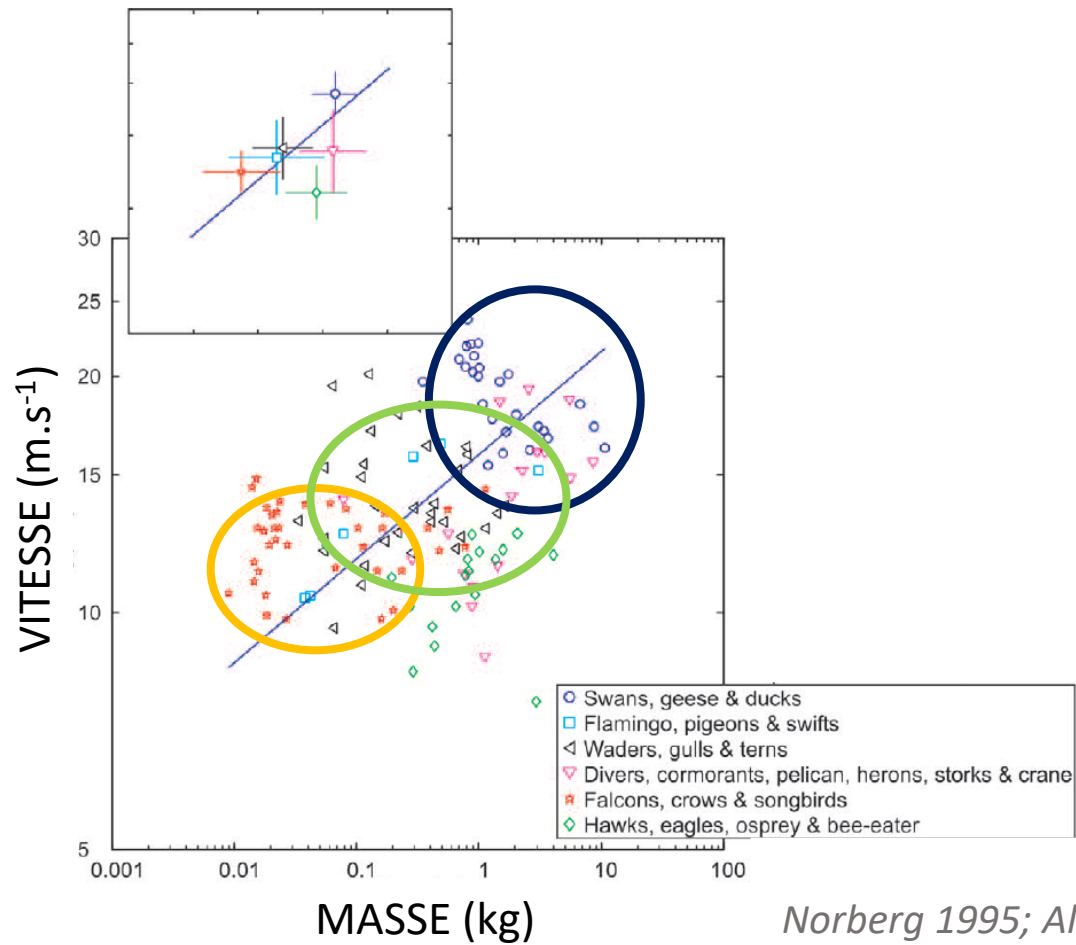
Norberg 1995; Alerstam et al. 2007

Vitesse de vol ~ Morphologie



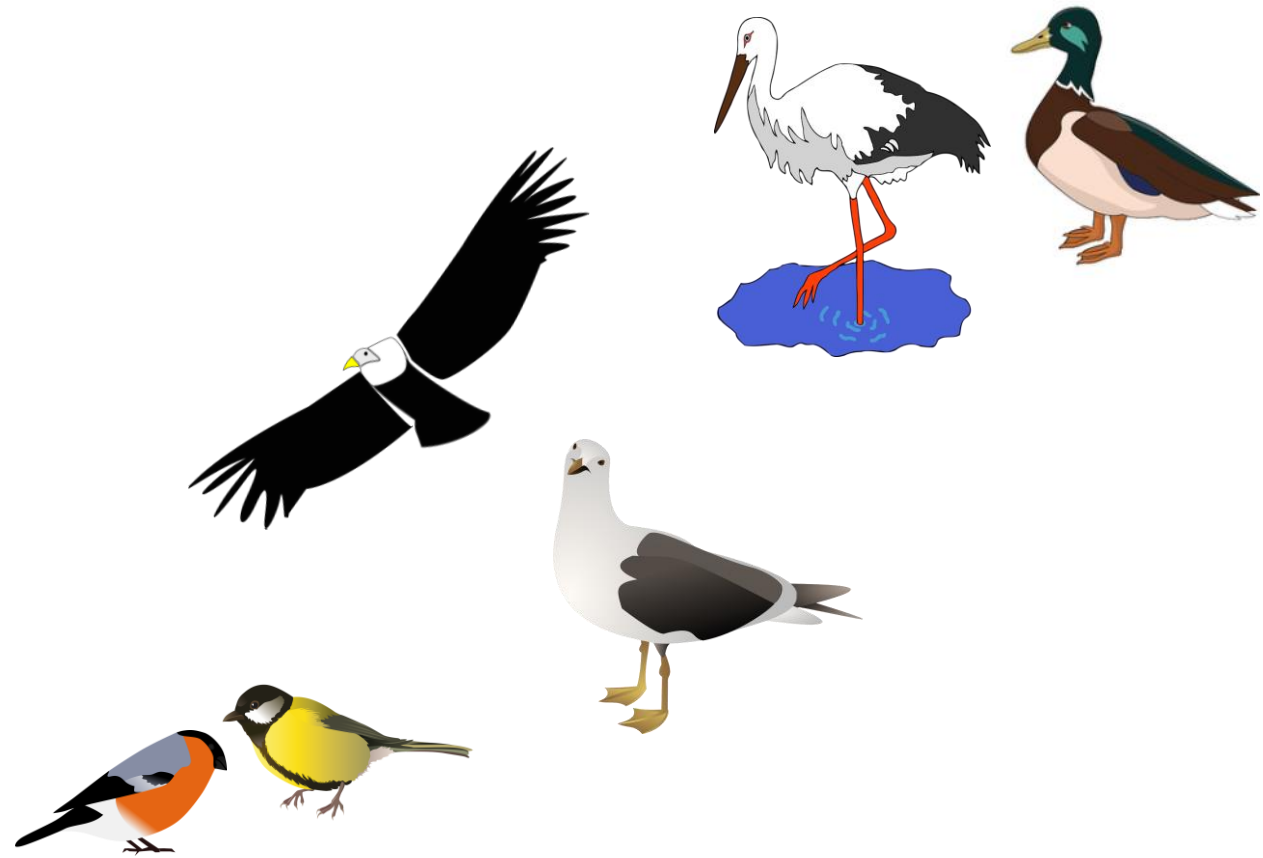
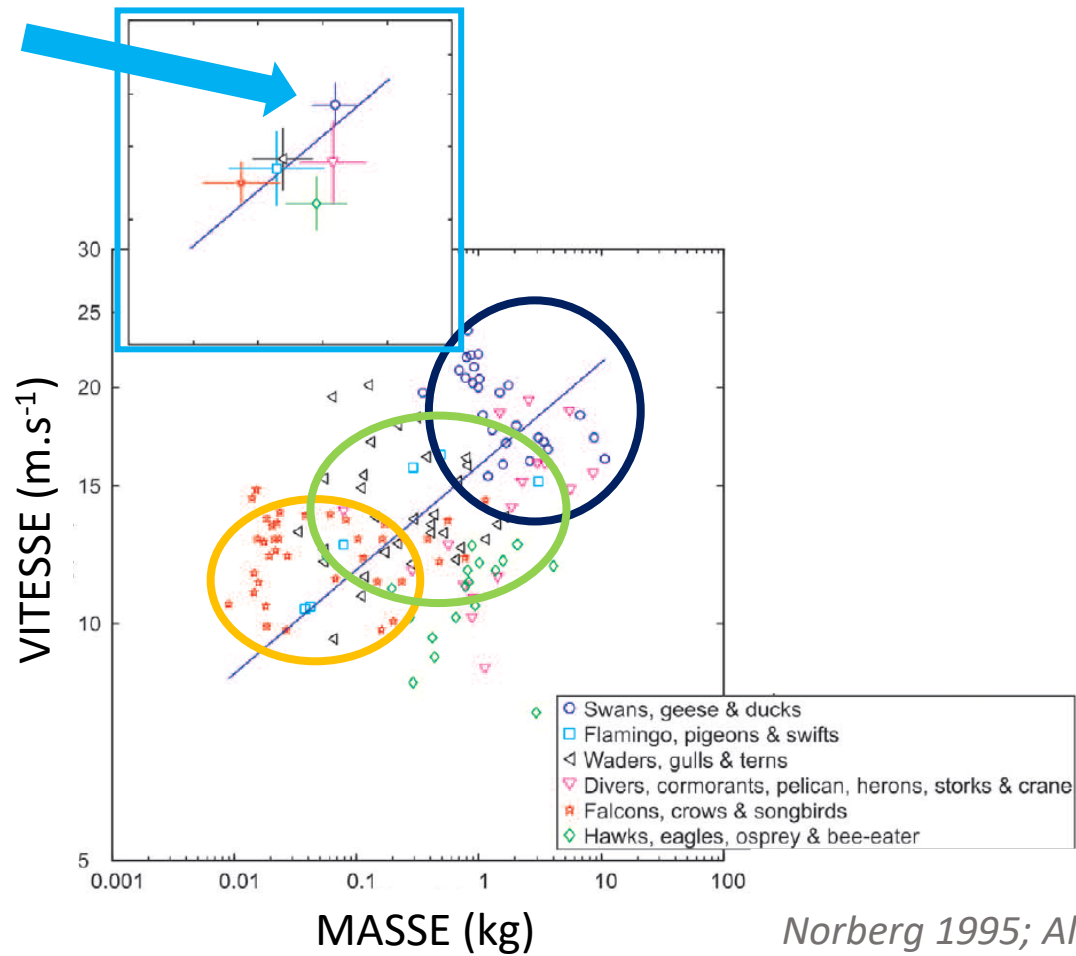
Norberg 1995; Alerstam et al. 2007

Vitesse de vol ~ Morphologie



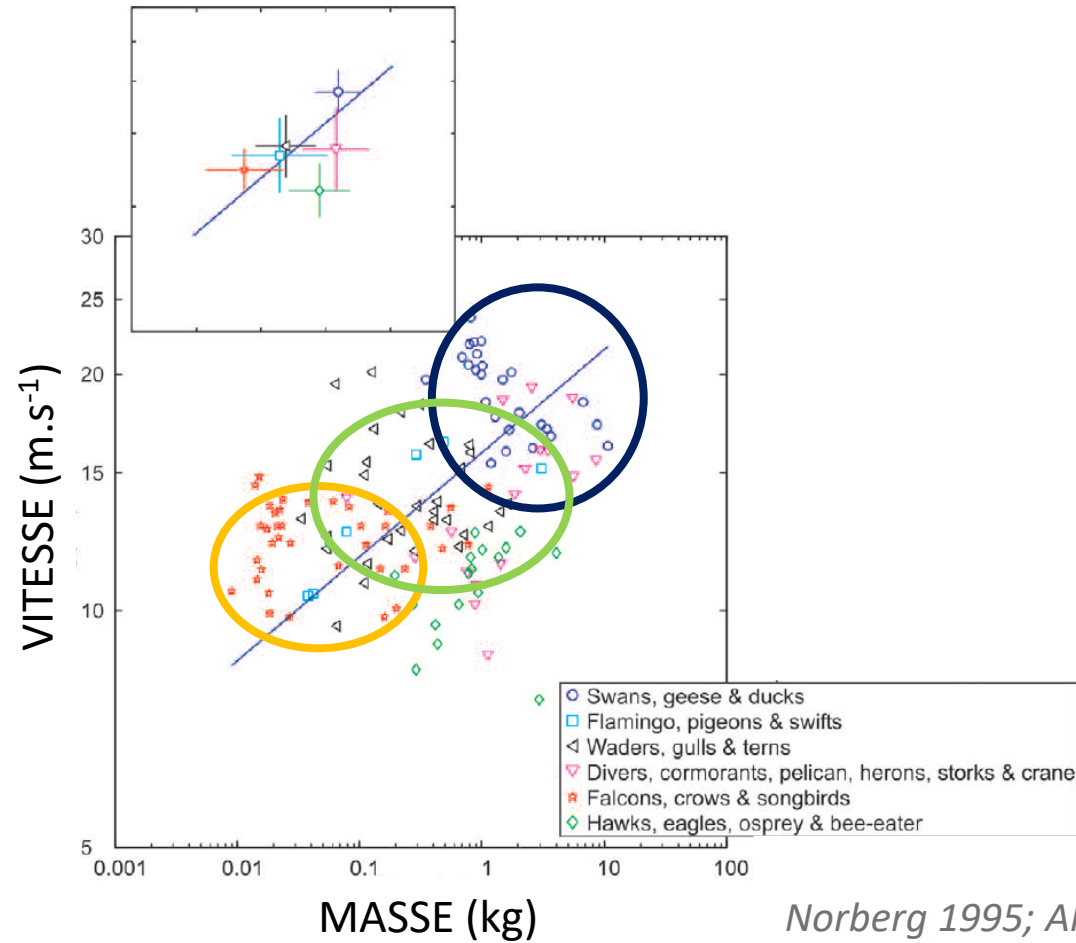
Norberg 1995; Alerstam et al. 2007

Vitesse de vol ~ Morphologie

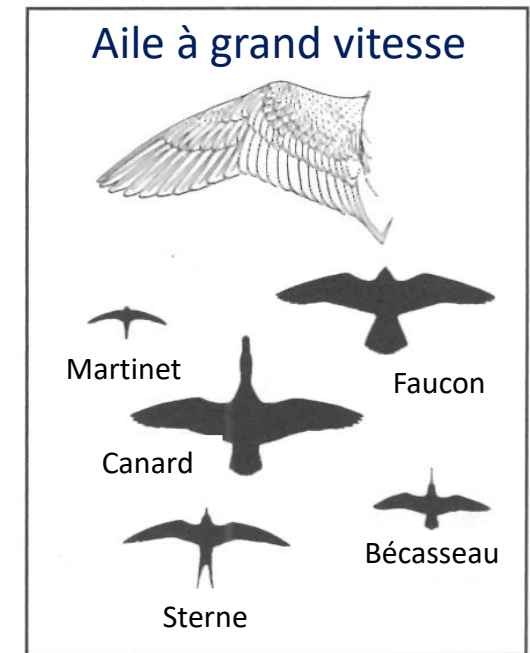


Norberg 1995; Alerstam et al. 2007

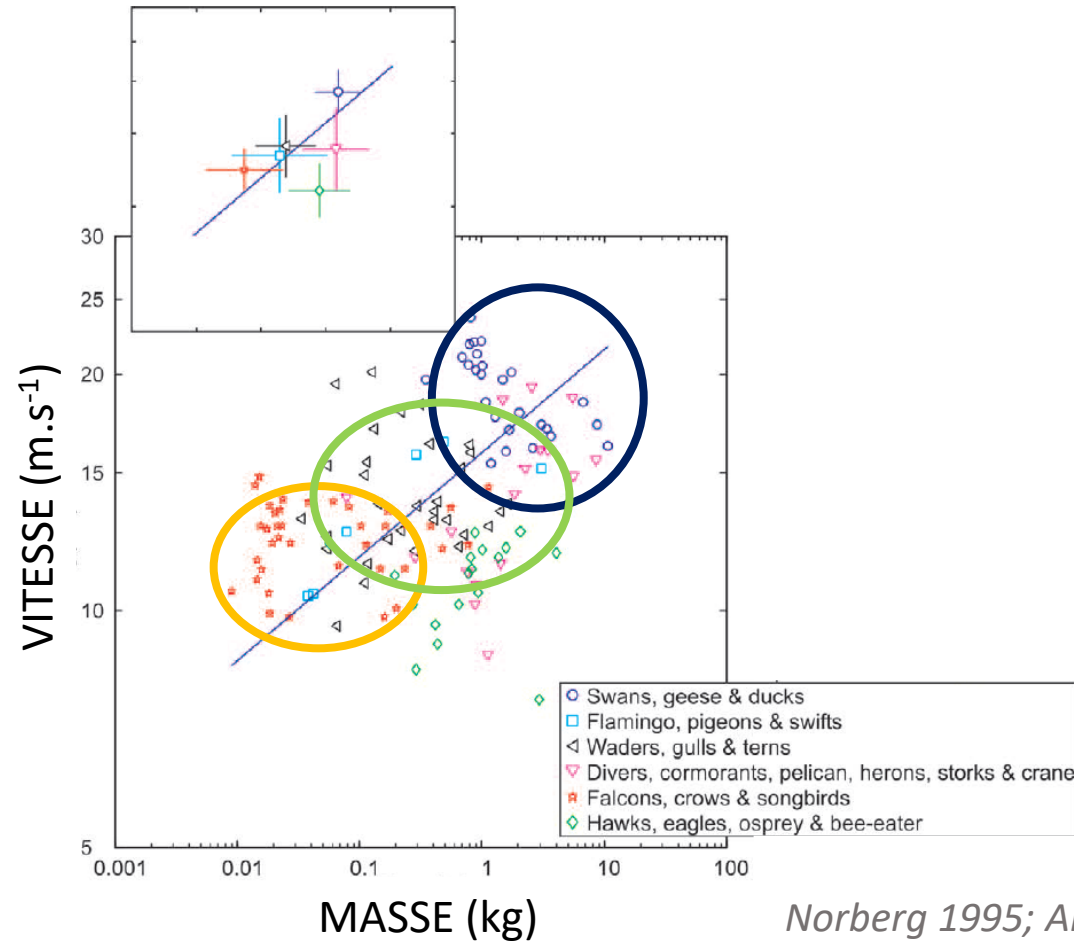
Vitesse de vol ~ Morphologie



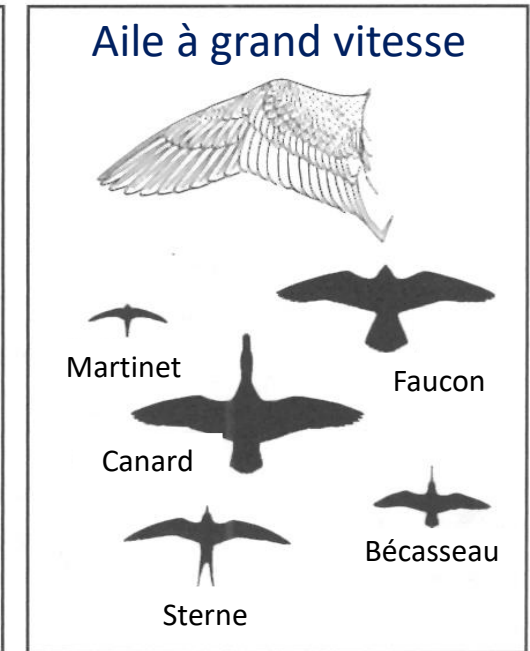
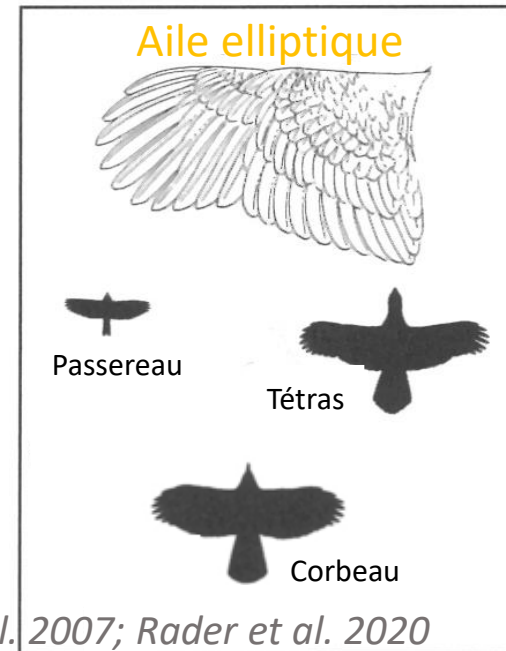
Norberg 1995; Alerstam et al. 2007; Rader et al. 2020



Vitesse de vol ~ Morphologie

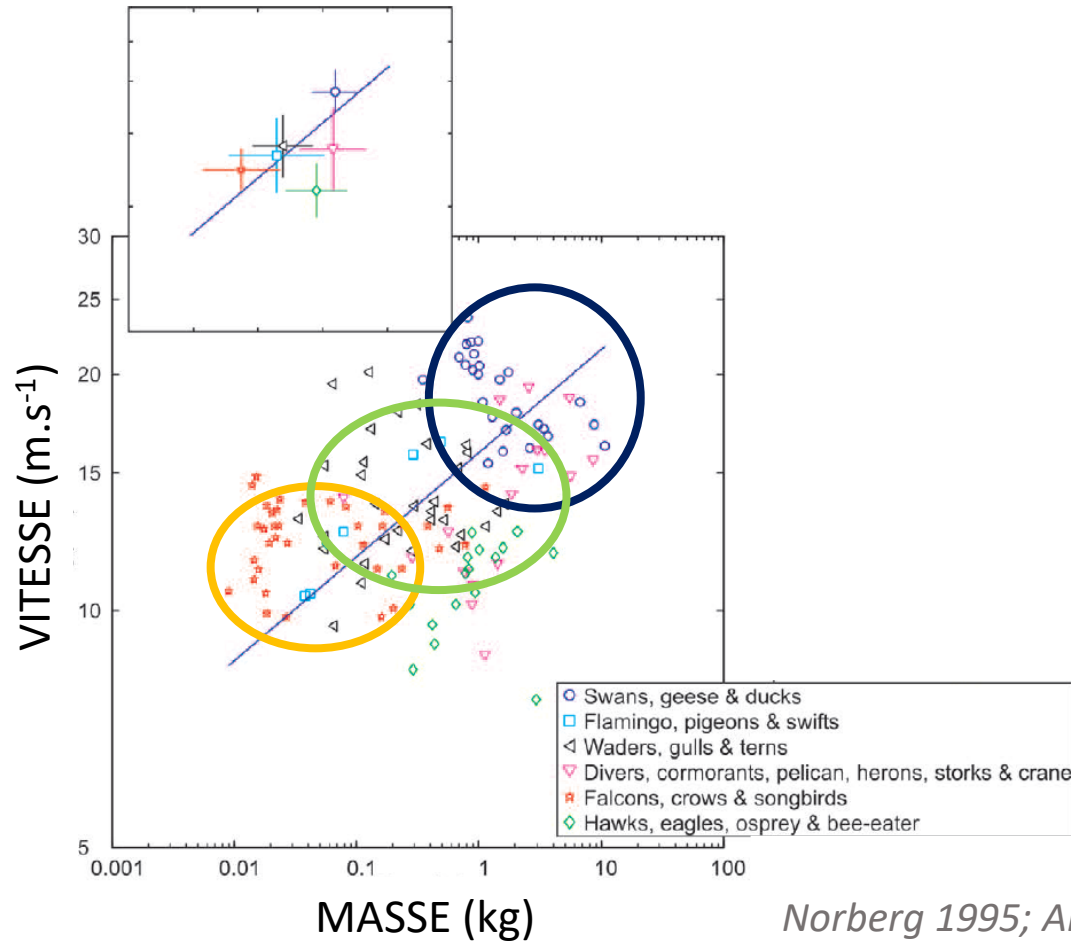


Norberg 1995; Alerstam et al. 2007; Rader et al. 2020

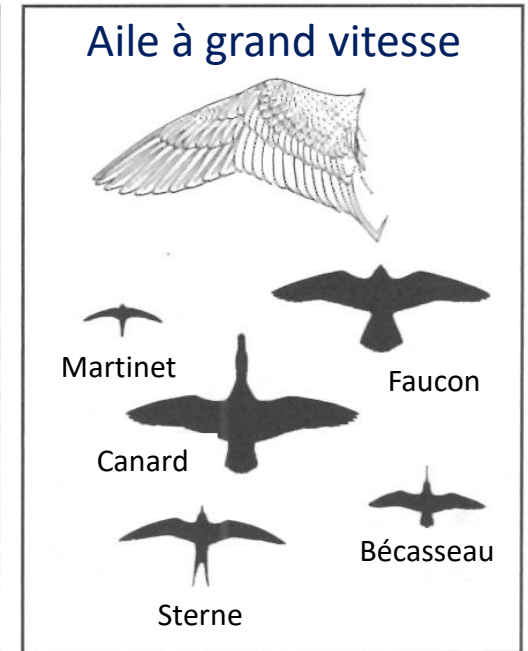
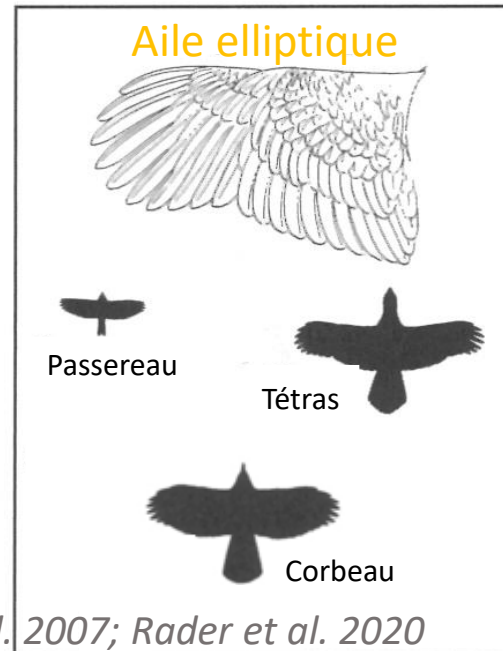
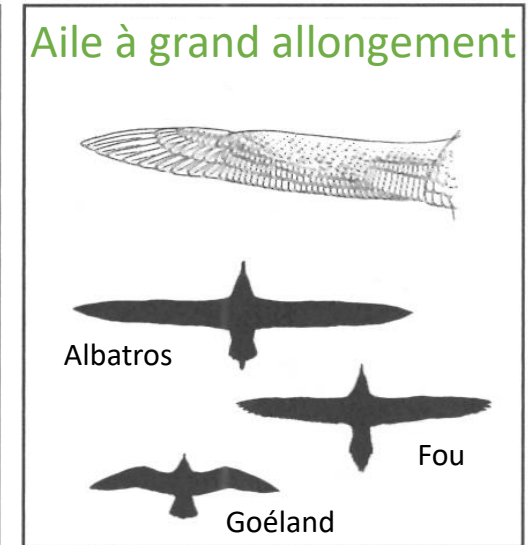
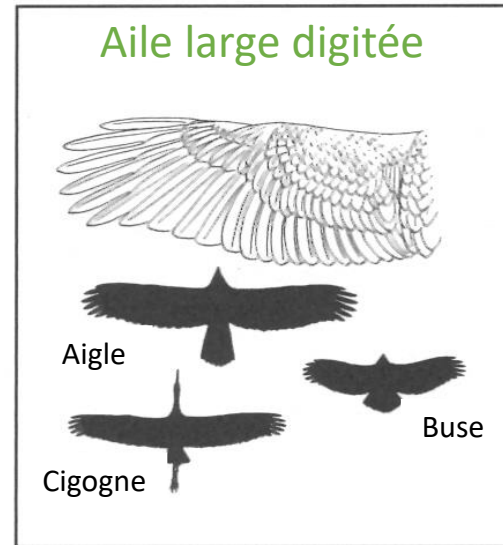




## Vitesse de vol ~ Morphologie



Norberg 1995; Alerstam et al. 2007; Rader et al. 2020



Type de vol

**BATTU**

**PLANÉ**

*Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007*



Déplacement Type de vol	Horizontal = mouvement
<b>BATTU</b>	
<b>PLANÉ</b>	

*Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007*

Déplacement Type de vol	Horizontal = mouvement	Stationnaire, Vertical
<b>BATTU</b>		
<b>PLANÉ</b>		

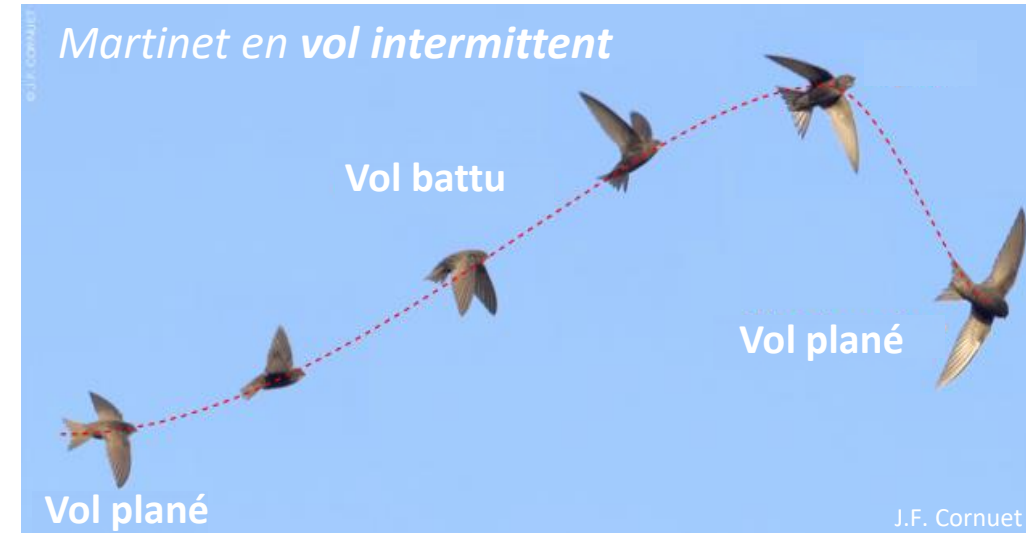
*Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007*

Déplacement Type de vol	Horizontal	
<b>BATTU</b>	➤ <b>Continu</b>	<i>Ex: canards, oies, cygnes</i>




*Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007*

Déplacement Type de vol	Horizontal	
<b>BATTU</b>	➤ Continu	<i>Ex: canards, oies, cygnes</i>
	➤ <b>Intermittent</b>	<i>Ex: passereaux, martinets</i>




*Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007*

Déplacement Type de vol	Horizontal	
<b>BATTU</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Continu</li> <li>➤ Intermittent</li> </ul>	<p><i>Ex: canards, oies, cygnes</i></p> <p><i>Ex: passereaux, martinets</i></p>
<b>PLANÉ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Plané</b></li> </ul>	<p><i>Ex: rapaces, cigogne, grue</i></p> <div data-bbox="517 928 1485 1370" style="text-align: center;">  <p><i>Grues en vol plané descendant</i></p> </div>

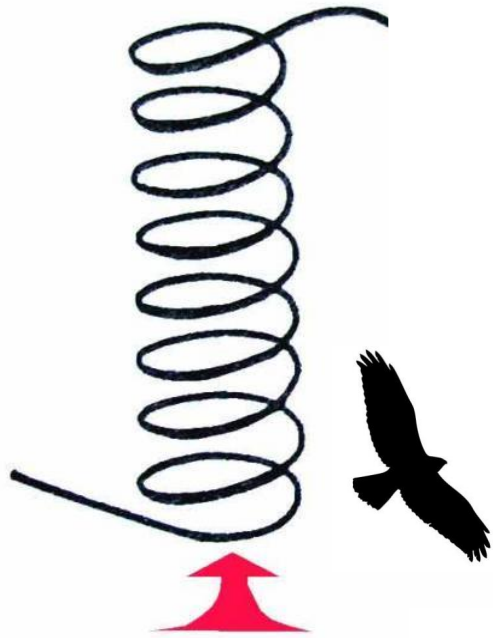
Déplacement Type de vol	Horizontal	Stationnaire, Vertical
<b>BATTU</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Continu <i>Ex: canards, oies, cygnes</i></li> <li>➤ Intermittent <i>Ex: passereaux, martinets</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Surplace, 'Saint esprit'</b> <i>Ex: faucons</i></li> </ul>
<b>PLANÉ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Plané <i>Ex: rapaces, cigogne, grue</i></li> </ul>	



Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007

Déplacement Type de vol	Horizontal	Stationnaire, Vertical
<b>BATTU</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Continu <i>Ex: canards, oies, cygnes</i></li> <li>➤ Intermittent <i>Ex: passereaux, martinets</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Surplace, 'Saint esprit' <i>Ex: faucons</i></li> </ul>
<b>PLANÉ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Plané <i>Ex: rapaces, cigogne, grue</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Vol à voile</b> <i>Ex: rapaces, grue</i></li> </ul> <div data-bbox="1694 921 2382 1320" style="text-align: center;">  <p>Vautours en vol à voile, ascendant</p> </div>

Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007



*Ascendance thermique*

**Vol à voile, ascendant et 'stationnaire'**

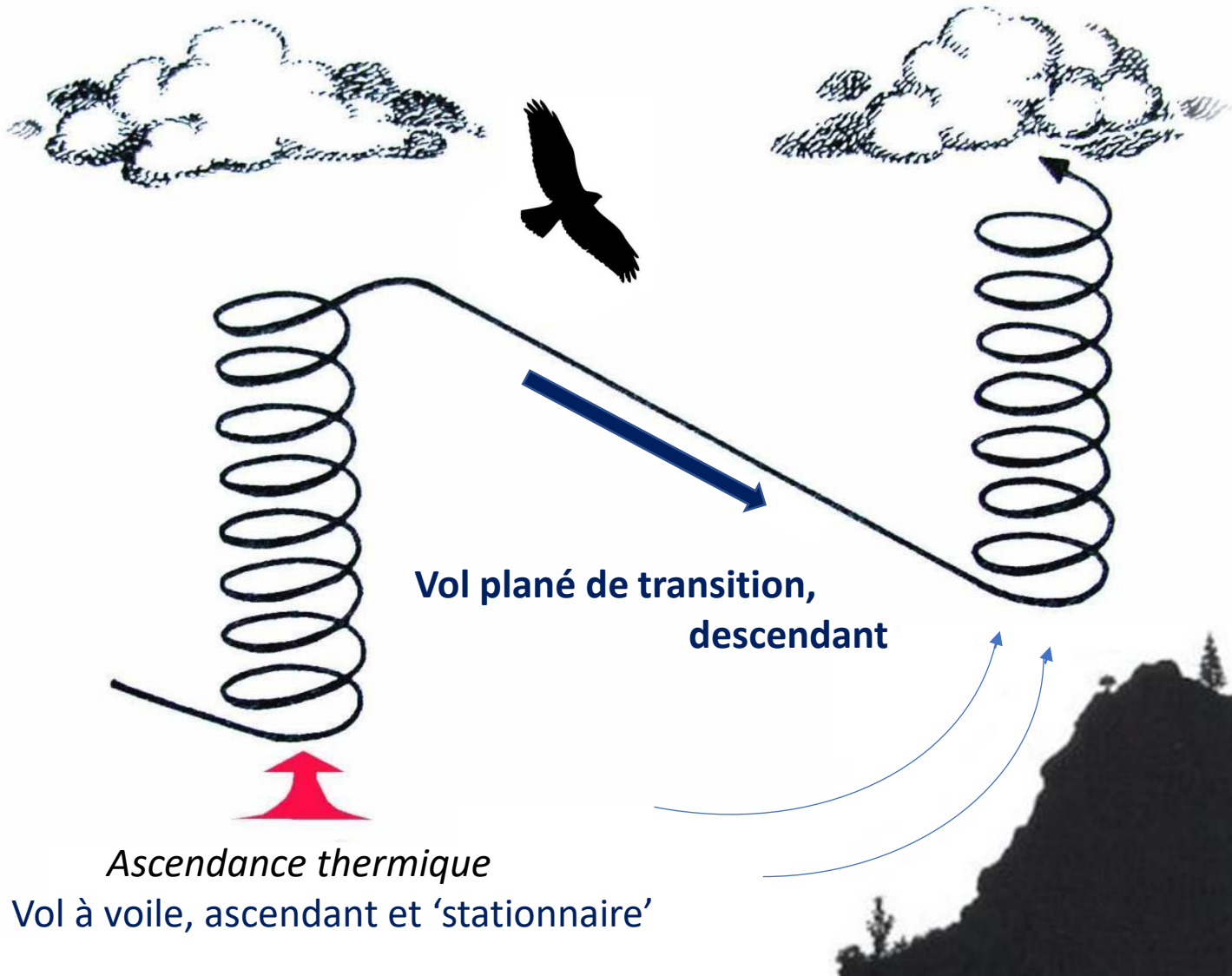
## Stationnaire, Vertical

➤ Surplace, 'Saint esprit'      *Ex: faucons*

➤ **Vol à voile**      *Ex: rapaces, grues*







## Stationnaire, Vertical

➤ Surplace, 'Saint esprit' *Ex: faucons*

➤ Vol à voile *Ex: rapaces, grues*

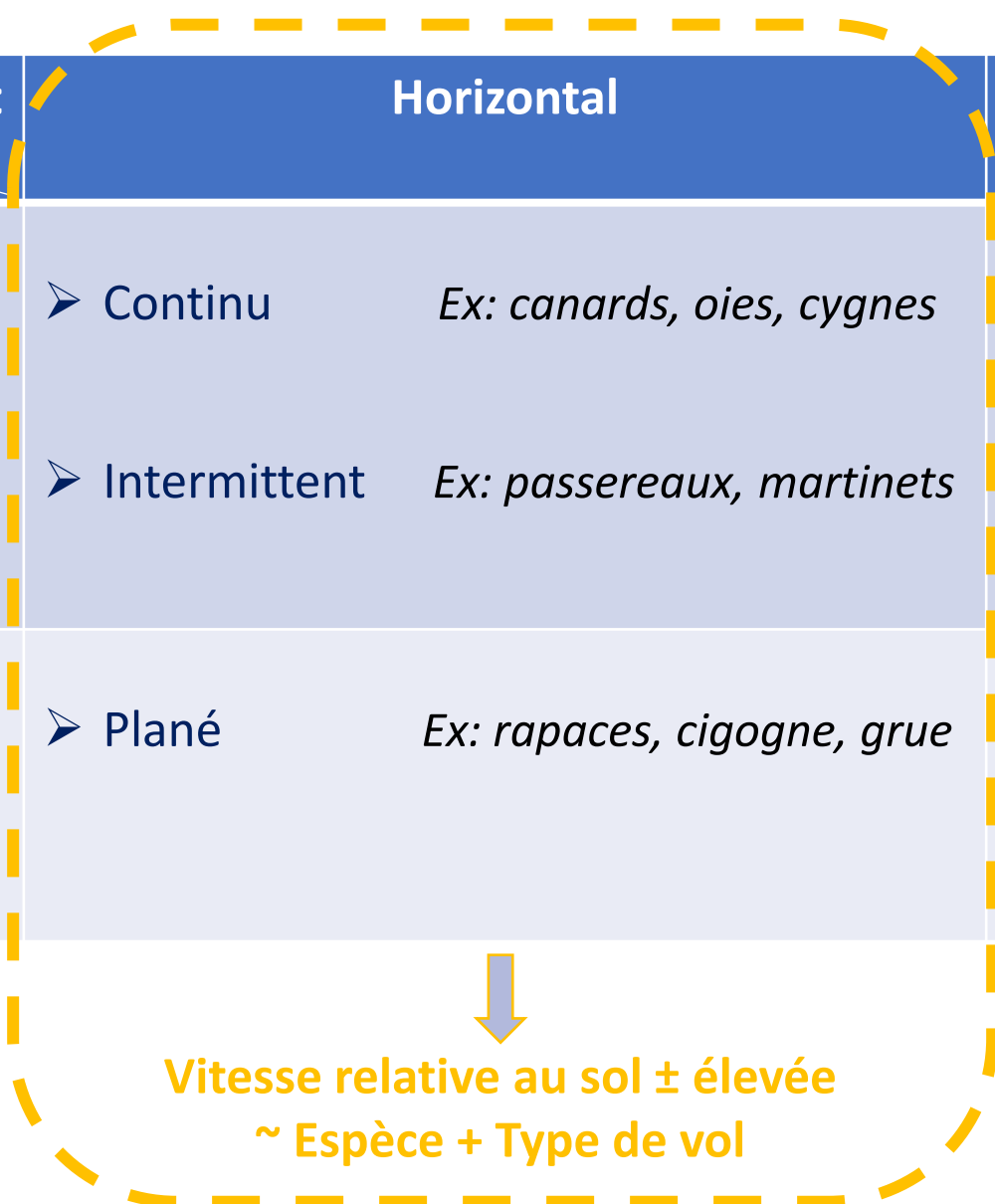


Déplacement Type de vol	Horizontal	Stationnaire, Vertical
<b>BATTU</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Continu <i>Ex: canards, oies, cygnes</i></li> <li>➤ Intermittent <i>Ex: passereaux, martinets</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Surplace, 'Saint esprit' <i>Ex: faucons</i></li> </ul>
<b>PLANÉ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Plané <i>Ex: rapaces, cigogne, grue</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vol à voile <i>Ex: rapaces, grues</i></li> </ul>



Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007

Déplacement Type de vol	Horizontal	Stationnaire, Vertical
<b>BATTU</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Continu <i>Ex: canards, oies, cygnes</i></li> <li>➤ Intermittent <i>Ex: passereaux, martinets</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Surplace, 'Saint esprit' <i>Ex: faucons</i></li> </ul>
<b>PLANÉ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Plané <i>Ex: rapaces, cigogne, grue</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vol à voile <i>Ex: rapaces, grues</i></li> </ul>



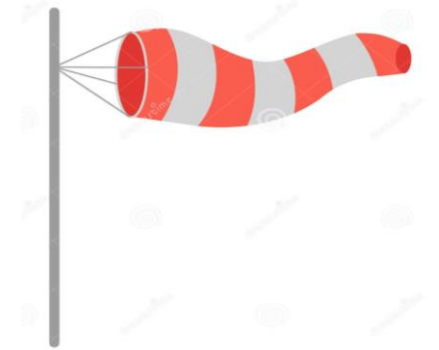
Vitesse relative au sol ± élevée  
~ Espèce + Type de vol

Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007

Vitesse de vol ~ Morphologie + Conditions environnementales

- Vitesse et direction du vent

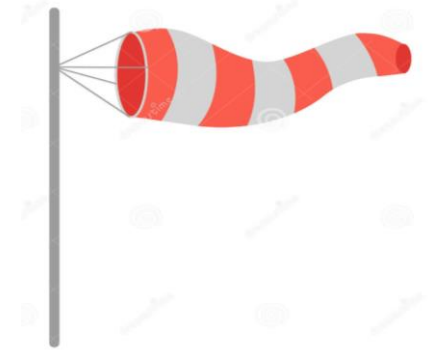
*Spear & Ainley, 1997; Lietchi & Bruderer, 1998; Lietchi, 2006; Safi et al. 2013*



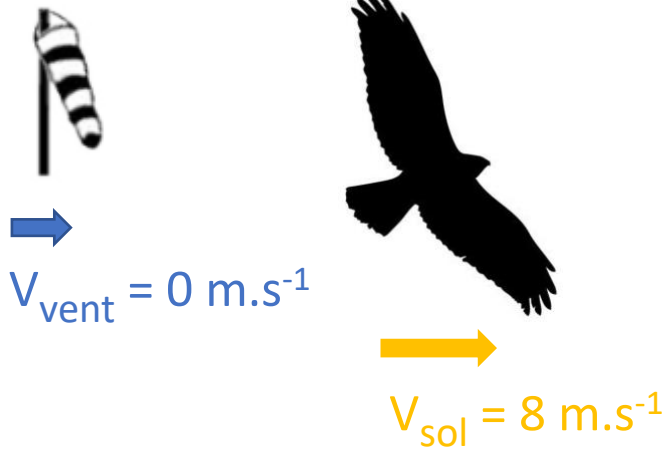
Vitesse de vol  $\sim$  Morphologie + Conditions environnementales

- Vitesse et direction du vent

↔ Si l'oiseau vole vent arrière, sa vitesse relative au sol augmente



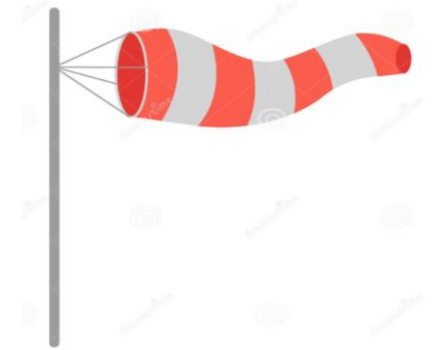
VENT NUL



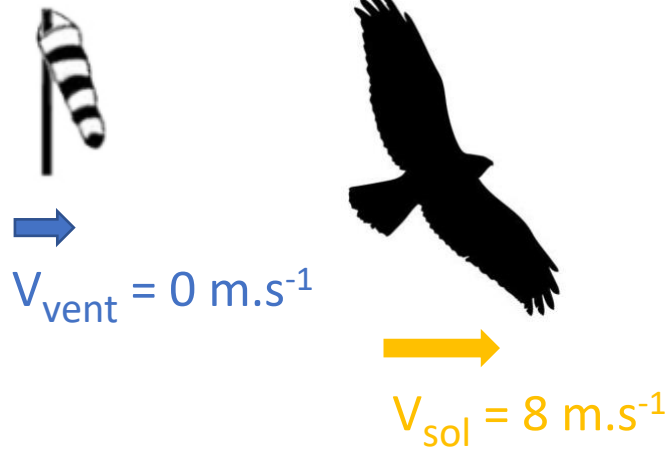
Vitesse de vol ~ Morphologie + Conditions environnementales

- Vitesse et direction du vent

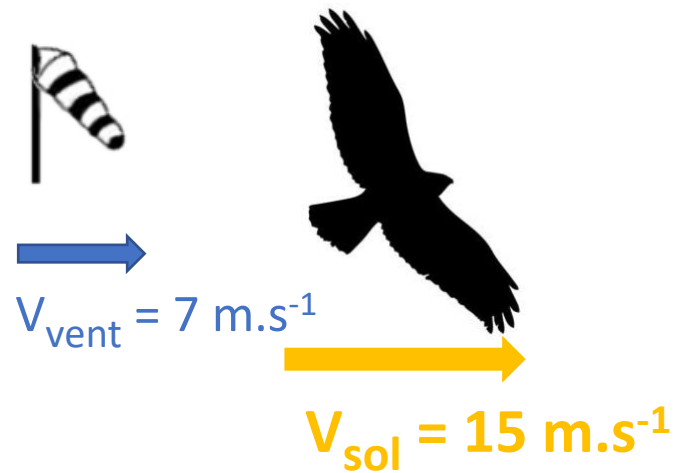
↔ Si l'oiseau vole vent arrière, sa vitesse relative au sol augmente



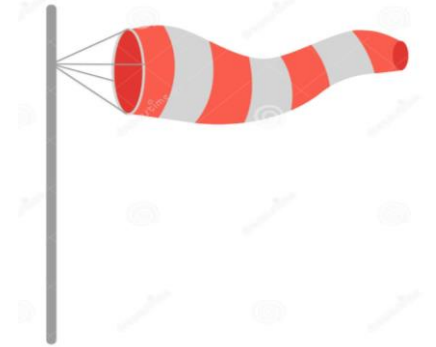
**VENT NUL**



**VENT ARRIÈRE**



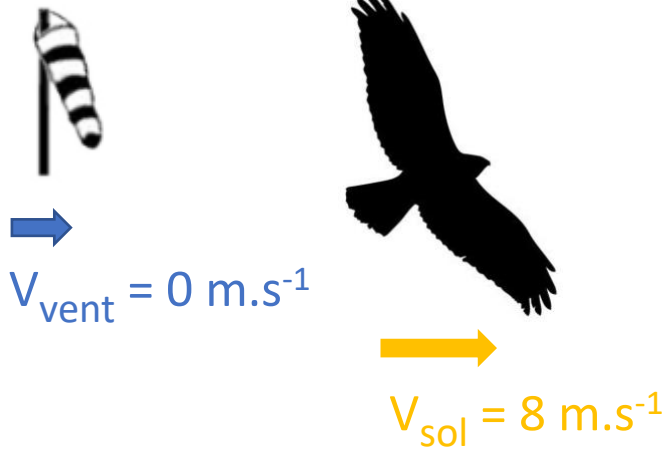
Vitesse de vol  $\sim$  Morphologie + Conditions environnementales



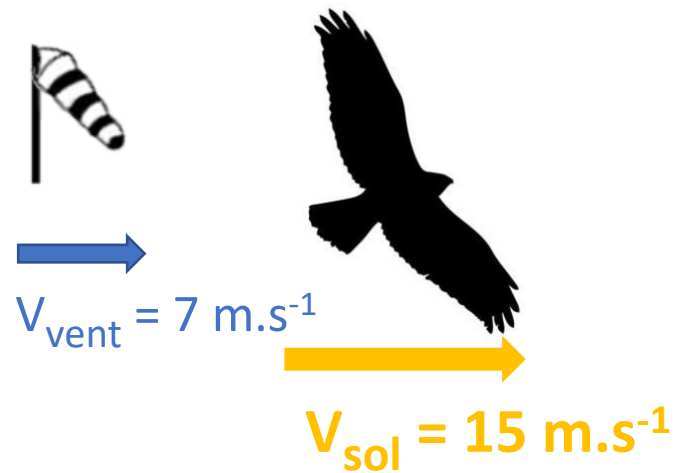
- Vitesse et direction du vent

↔ Si l'oiseau vole vent arrière, sa vitesse relative au sol augmente; et inversement

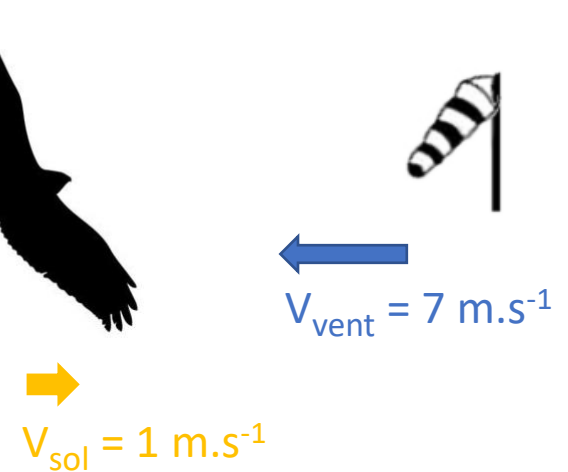
**VENT NUL**



**VENT ARRIÈRE**



**VENT de FACE**



## Vitesse de vol ~ Morphologie + Conditions environnementales

- Vitesse et direction du vent

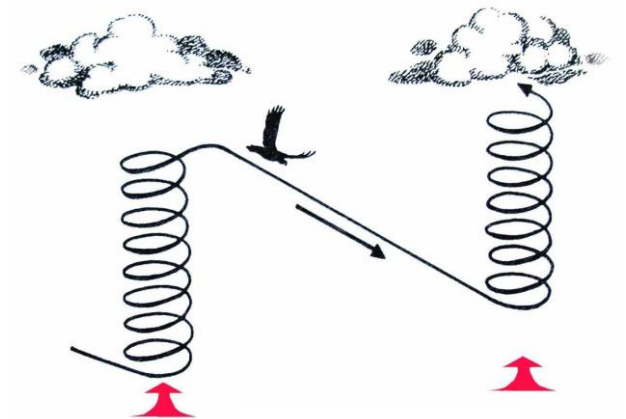
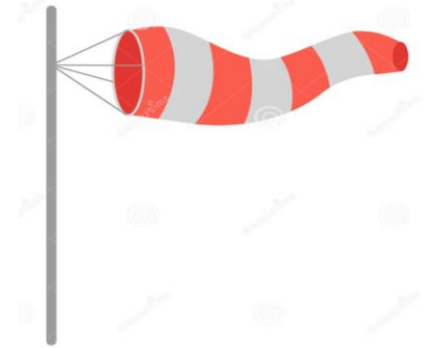
⇔ Si l'oiseau vole vent arrière, sa vitesse relative au sol augmente; et inversement

*Spear & Ainley, 1997; Lietchi & Bruderer, 1998; Lietchi, 2006; Safi et al. 2013*

- Présence/absence d'ascendance thermique

⇔ Vitesse de vol plané plus élevée si bonnes conditions thermiques

*Dodge et al. 2014; Duerr et al. 2015*





**Vitesse de vol** ~ Morphologie + Conditions environnementales + **Motivation, contexte**

- **Vol local**

*Versus*

- **Vol migratoire**

*Alerstam 1991 ; Hedenström and Alerstam, 1995; Nilsson et al. 2013; Harel et al. 2016*

**Vitesse de vol** ~ Morphologie + Conditions environnementales + **Motivation, contexte**

- **Vol local :**

- **Recherche alimentaire** ⇔ vol plus sinueux, vitesse plus lente

Vitesse de vol  $\sim$  Morphologie + Conditions environnementales + **Motivation, contexte**

- **Vol local :**

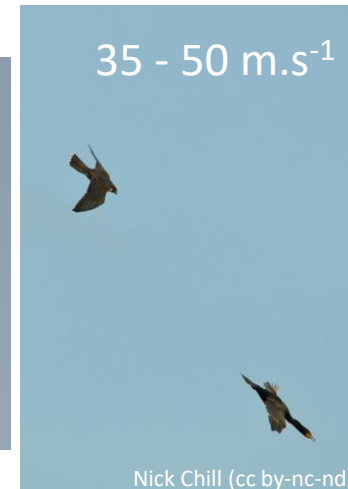
- Recherche alimentaire  $\Leftrightarrow$  vol plus sinueux, vitesse plus lente
- **Vol de transit**  $\Leftrightarrow$  vol direct, vitesse plus ou moins élevée



Vitesse de vol  $\sim$  Morphologie + Conditions environnementales + **Motivation, contexte**

■ **Vol local :**

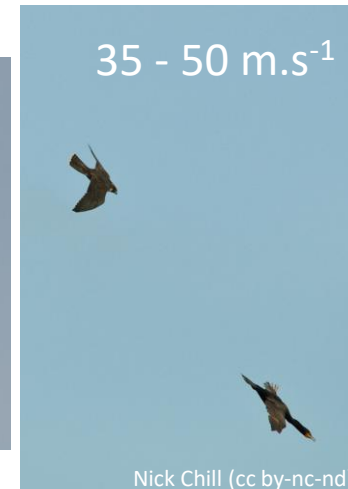
- Recherche alimentaire  $\Leftrightarrow$  vol plus sinueux, vitesse plus lente
- Vol de transit  $\Leftrightarrow$  vol direct, vitesse plus ou moins élevée
- **Comportement de chasse**  $\Leftrightarrow$  vol rectiligne, vitesse (très) élevée



Vitesse de vol ~ Morphologie + Conditions environnementales + Motivation, contexte

## ■ Vol local :

- Recherche alimentaire ⇔ vol plus sinueux, vitesse plus lente
- Vol de transit ⇔ vol direct, vitesse plus ou moins élevée
- Comportement de chasse ⇔ vol rectiligne, vitesse (très) élevée



## ■ Vol migratoire:

### ○ Migration printanière

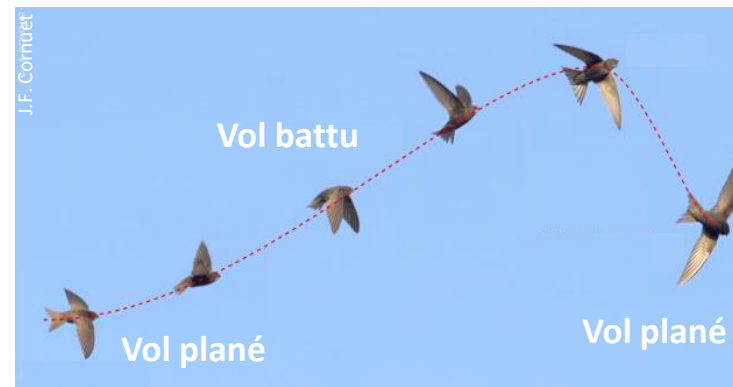
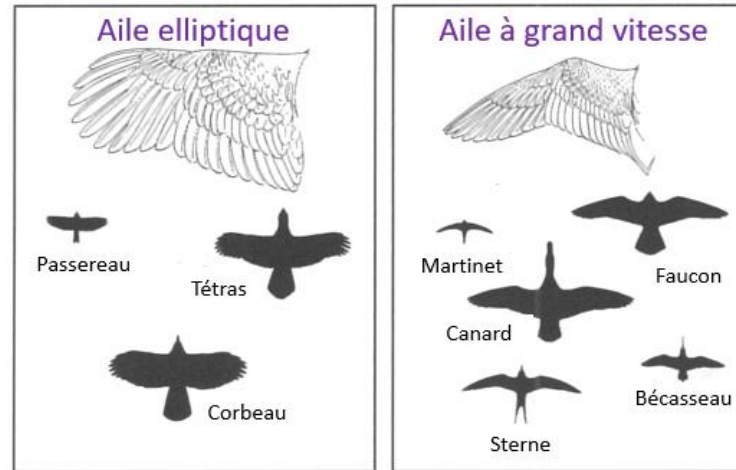
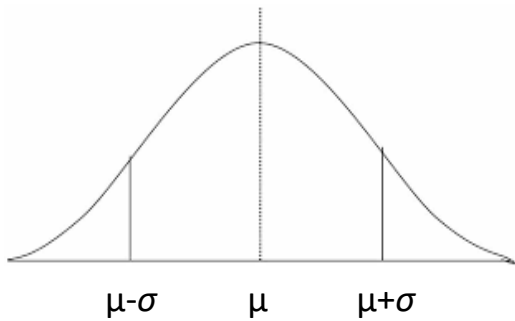
⇔ Vitesse élevée pour atteindre rapidement le site de reproduction




*Alerstam 1991 ; Hedenström and Alerstam, 1995; Nilsson et al. 2013; Harel et al. 2016*

Vitesse de vol ~ Morphologie + Conditions environnementales + Motivation, contexte

Grande variabilité  
des vitesses de vol






**MESURER les vitesses de vol des oiseaux**

	<b>RADAR</b>
<b>Principe</b>	
<b>Contexte</b>	<p>Migration +++ Diurne et nocturne</p>
<b>Précision</b>	<p>Groupe d'espèces voire espèce Détection à plusieurs km</p>
<b>Mesures</b>	<p>Altitude de vol, Trajectoire Vitesse de vol</p>

*Bruderer 1997; Bruderer & Boldt, 2001; Bruderer, 2003*

**MESURER les vitesses de vol des oiseaux**

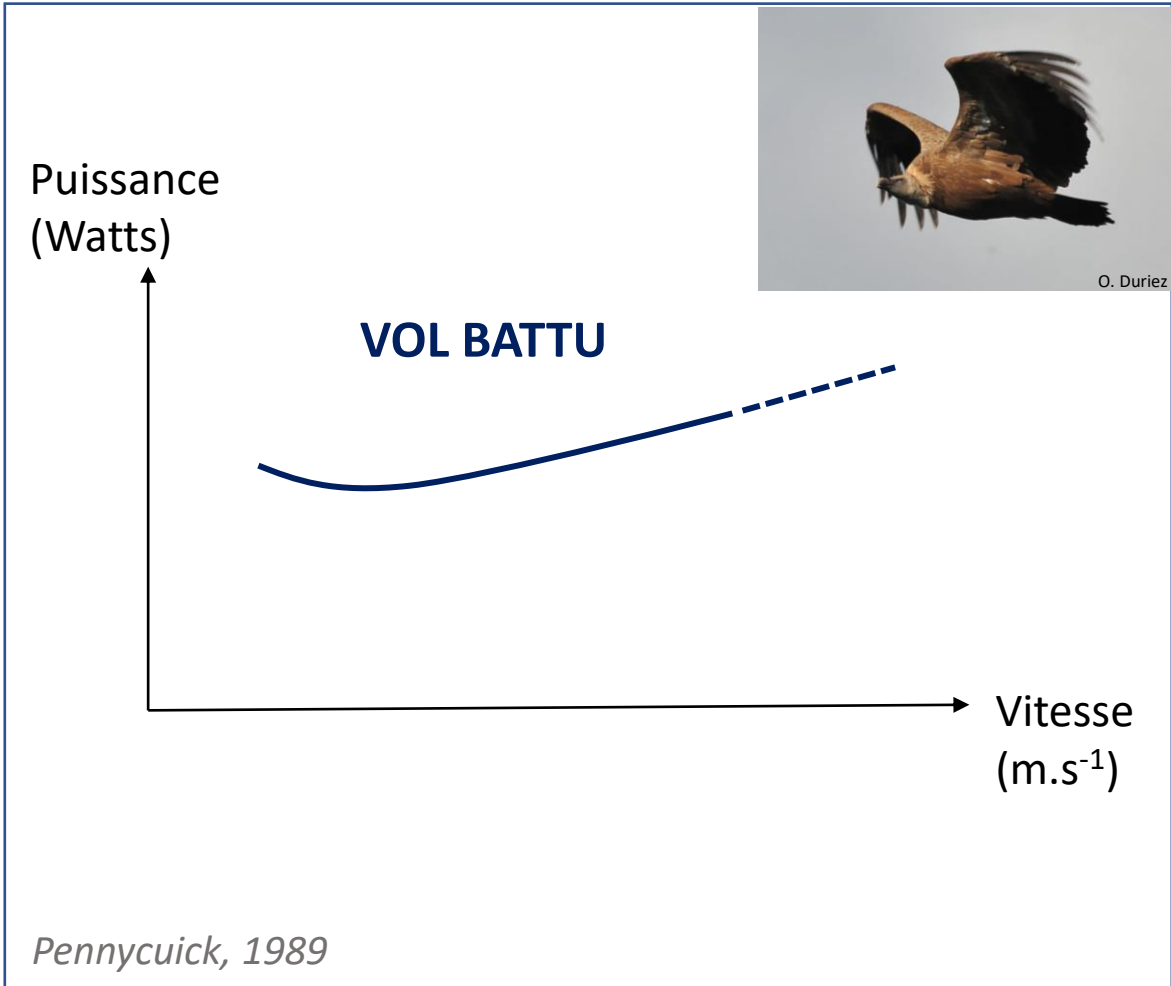
	RADAR	GPS
<b>Principe</b>		 
<b>Contexte</b>	Migration +++ Diurne et nocturne	Vols locaux et migration Diurne et nocturne
<b>Précision</b>	Groupe d'espèces voire espèce Détection à plusieurs km	Espèce Fréquence d'échantillonnage variable
<b>Mesures</b>	Altitude de vol, Trajectoire Vitesse de vol	Altitude de vol, Trajectoire Vitesse de vol

*Bruderer 1997; Bruderer & Boldt, 2001; Bruderer, 2003*

*Bridge et al. 2011; Sherub et al. 2017; Largey et al. 2021*

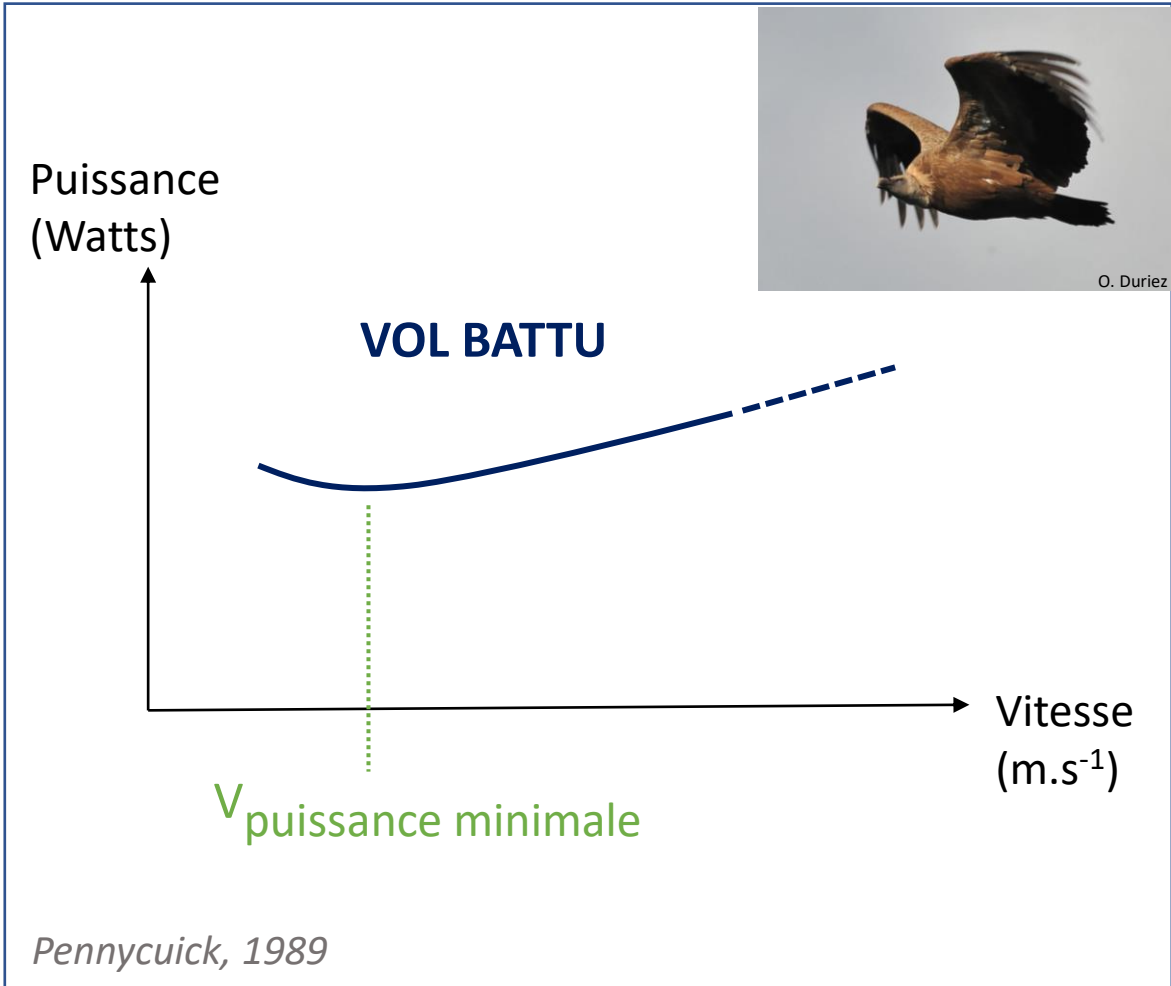


**PRÉDIRE les vitesses de vol des oiseaux: théories aérodynamiques**



Vitesse prédite ~ Masse + Allongement des ailes

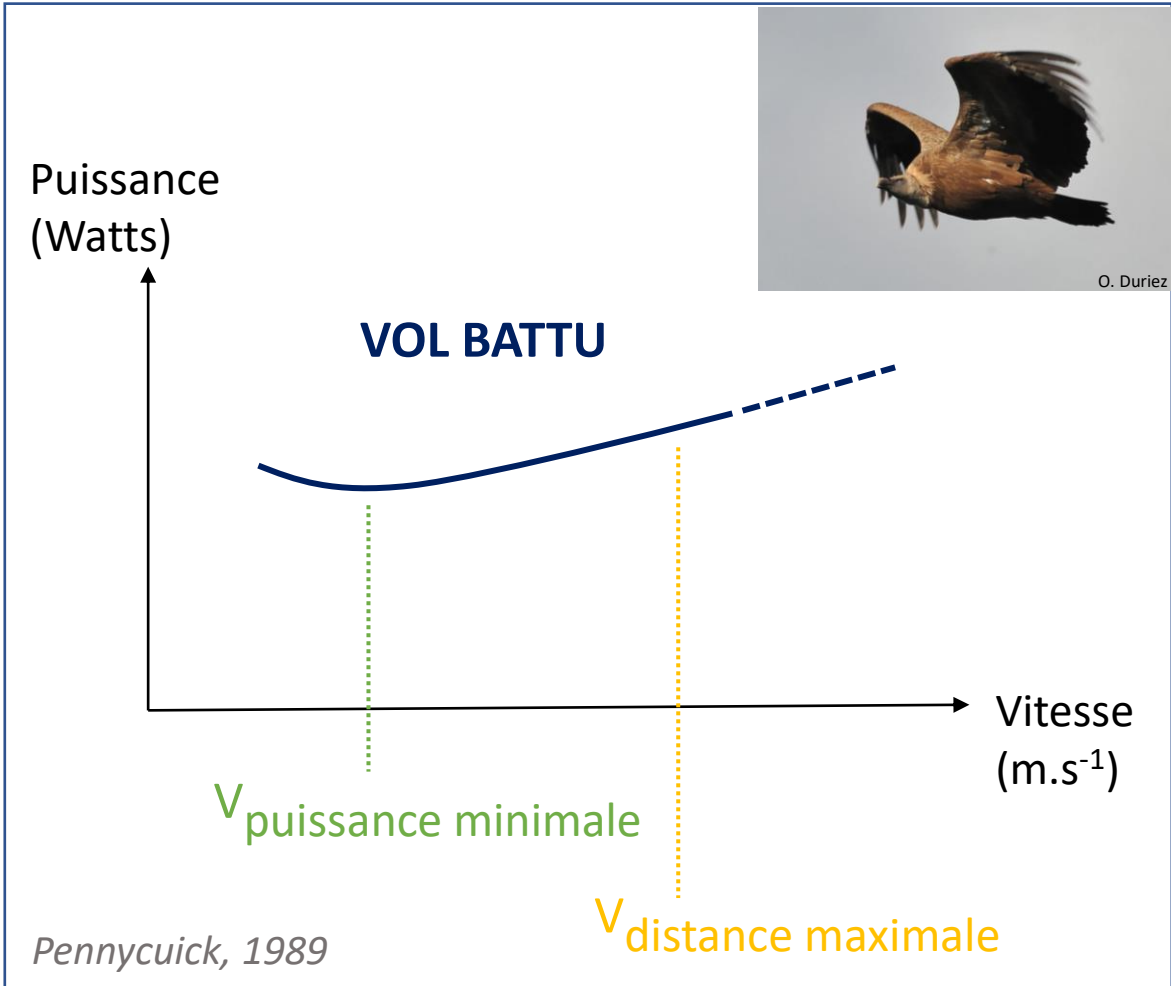
PRÉDIRE les vitesses de vol des oiseaux: théories aérodynamiques



Exemple du Vautour fauve:

$V_{\text{puissance minimale}} = 15.4 \text{ m.s}^{-1}$

**PRÉDIRE les vitesses de vol des oiseaux: théories aérodynamiques**

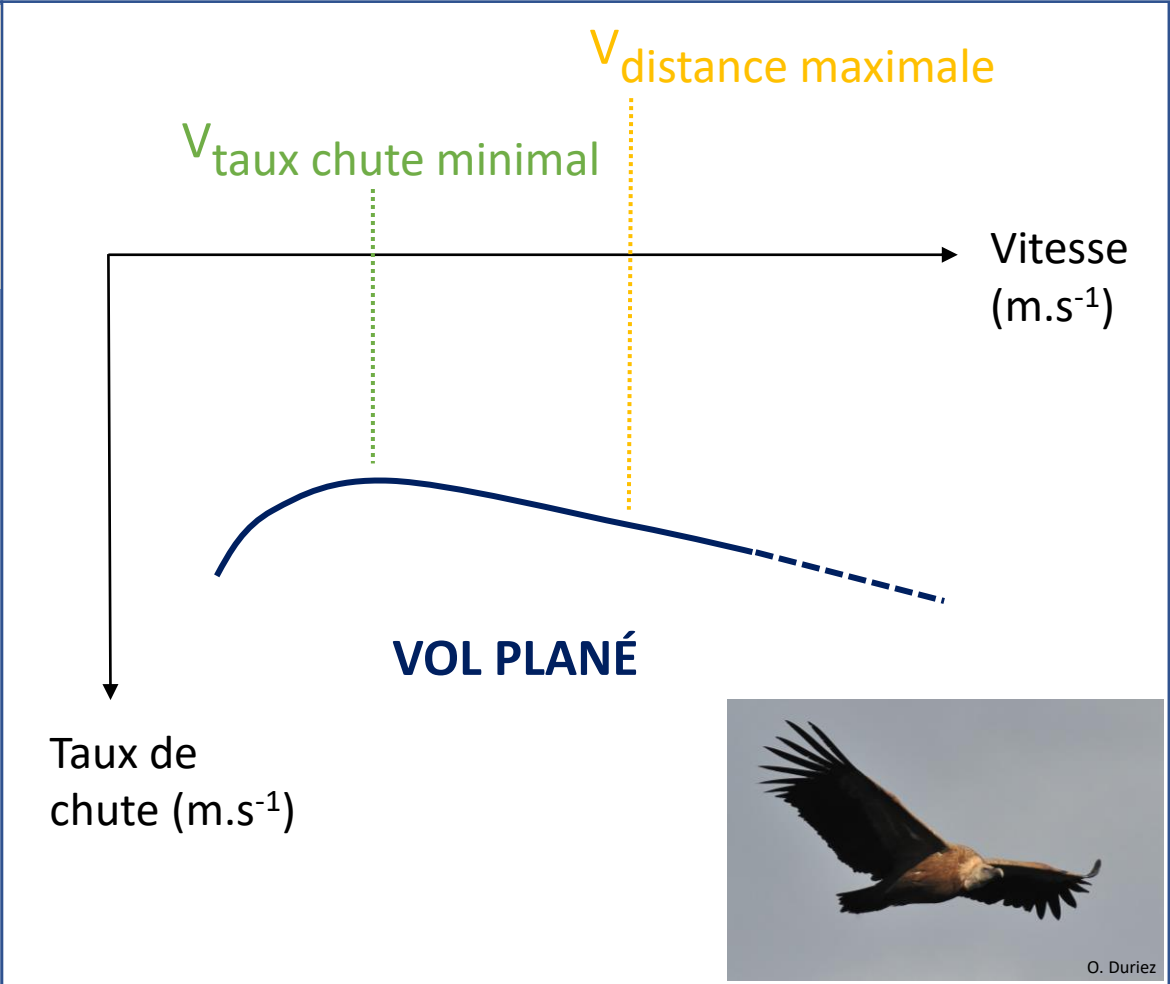
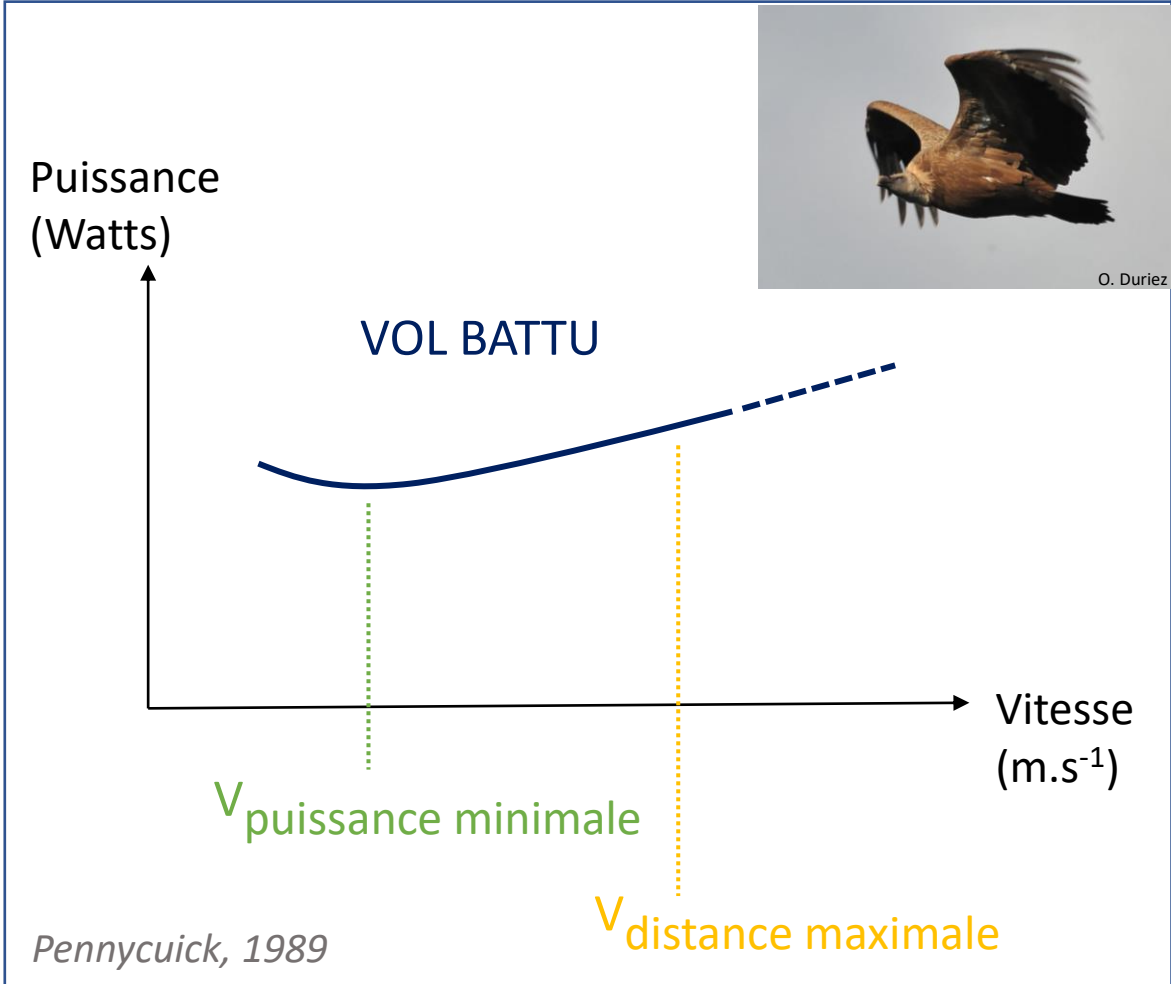


*Exemple du Vautour fauve:*

$V_{\text{puissance minimale}} = 15.4 \text{ m.s}^{-1}$

$V_{\text{distance maximale}} = 25.6 \text{ m.s}^{-1}$

**PRÉDIRE les vitesses de vol des oiseaux: théories aérodynamiques**



VARIABILITÉ des vitesses de vol mesurées

**1) Vitesse air** = vitesse de déplacement dans la masse d'air = vent relatif

*Référentiel = oiseau en vol*

## VARIABILITÉ des vitesses de vol mesurées

**1) Vitesse air** = vitesse de déplacement dans la masse d'air = vent relatif

*Référentiel = oiseau en vol*

**2) Vitesse sol** = vitesse de déplacement par rapport au sol

*Référentiel = observateur au sol*

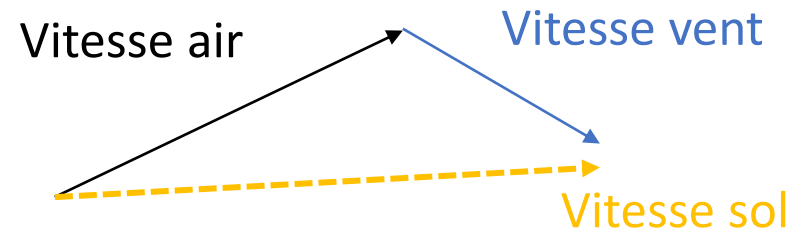
VARIABILITÉ des vitesses de vol mesurées

1) **Vitesse air** = vitesse de déplacement dans la masse d'air = vent relatif

*Référentiel = oiseau en vol*

2) **Vitesse sol** = vitesse de déplacement par rapport au sol

*Référentiel = observateur au sol*



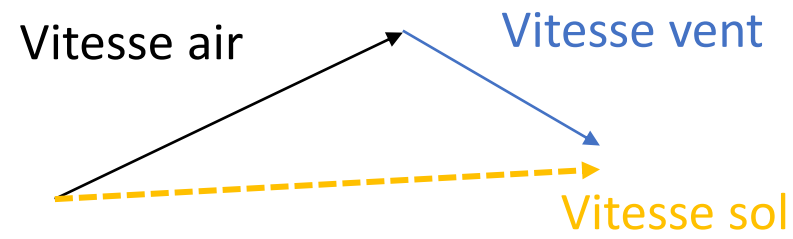
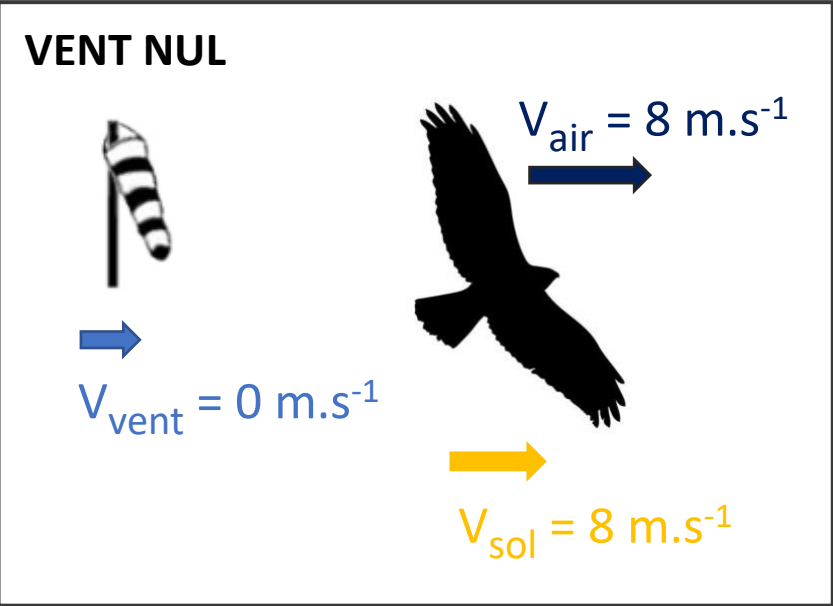
VARIABILITÉ des vitesses de vol mesurées

1) **Vitesse air** = vitesse de déplacement dans la masse d'air = vent relatif

*Référentiel = oiseau en vol*

2) **Vitesse sol** = vitesse de déplacement par rapport au sol

*Référentiel = observateur au sol*





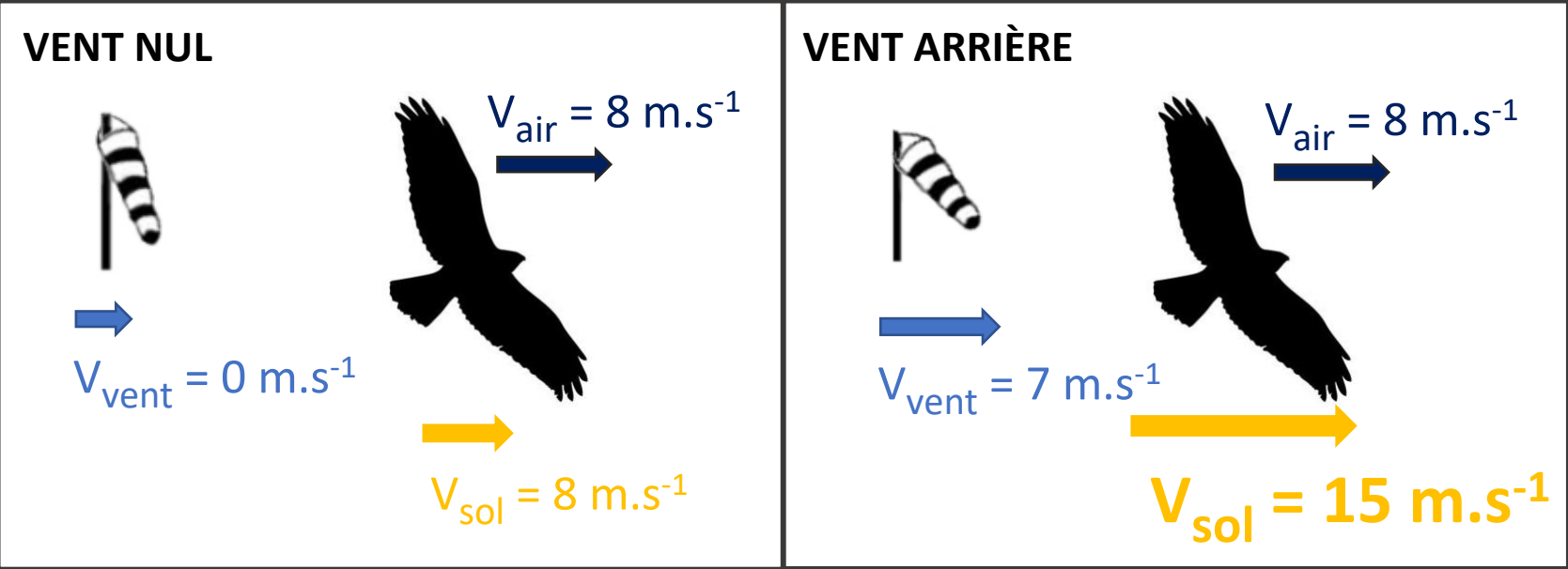
**VARIABILITÉ des vitesses de vol mesurées**

1) **Vitesse air** = vitesse de déplacement dans la masse d'air = vent relatif

*Référentiel = oiseau en vol*

2) **Vitesse sol** = vitesse de déplacement par rapport au sol

*Référentiel = observateur au sol*



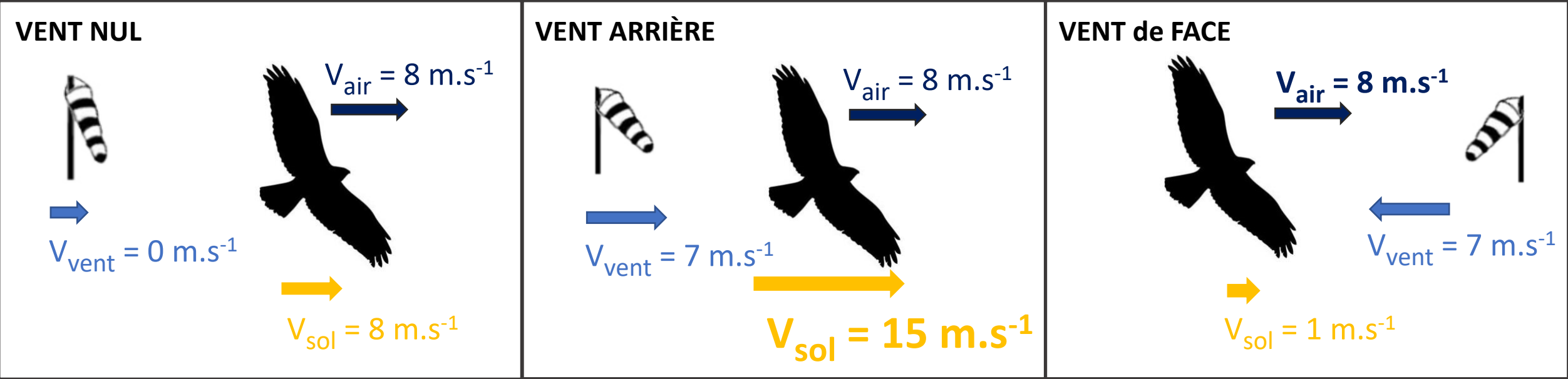
**VARIABILITÉ des vitesses de vol mesurées**

**1) Vitesse air** = vitesse de déplacement dans la masse d'air = vent relatif

*Référentiel = oiseau en vol*

**2) Vitesse sol** = vitesse de déplacement par rapport au sol

*Référentiel = observateur au sol*





VARIABILITÉ des vitesses de vol mesurées

→ Dans le contexte éolien, **vitesse sol** = vitesse qui nous importe le plus

→ Dans les études publiées :

	RADAR	GPS	Modèles prédictifs
Vitesses rapportées	Vitesse air +++	Vitesse sol +++	Vitesse air



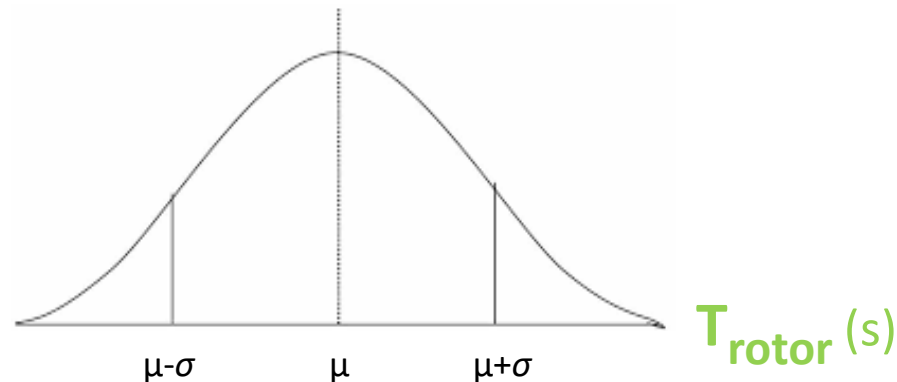
**Etat d'avancement de mon travail**

Etat d'avancement de mon travail :  $T_{\text{rotor}}$

Temps ralentissement/arrêt rotor  $\sim$  Modèle turbine + Vitesse vent

$\Rightarrow$  Echanges avec des turbiniers

$\Rightarrow$  Proposition d'un protocole aux exploitants éoliens pour mesurer  $T_{\text{rotor}}$



## Etat d'avancement de mon travail : **Vitesses de vol**

### 1) Recherche bibliographique

- **Etudes « suivi radar »**: recueil des vitesses de vol de **180 espèces européennes, en migration ++**

*Spaar, 1997; Meyer et al. 2000; Bruderer & Boldt, 2001; Alerstam et al., 2007; Nilsson et al. 2013, Pennycuick et al. 2013*

Etat d'avancement de mon travail : **Vitesses de vol**

1) Recherche bibliographique

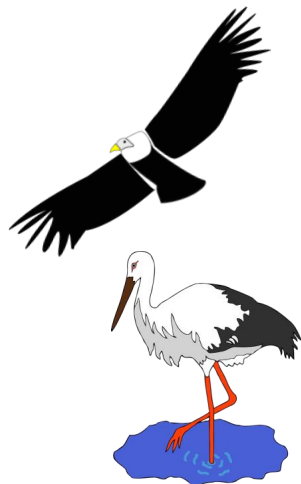
- **Etudes « suivi radar »**: recueil des vitesses de vol de **180 espèces européennes, en migration ++**

*Spaar 1997; Meyer et al. 2000; Bruderer & Boldt, 2001; Alerstam et al., 2007; Nilsson et al. 2013, Pennycuick et al. 2013*

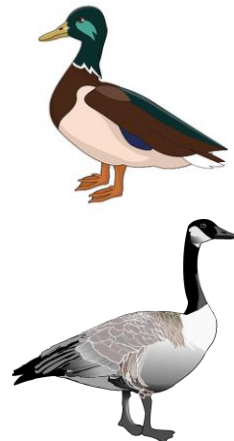
27%



17%



14%



11%



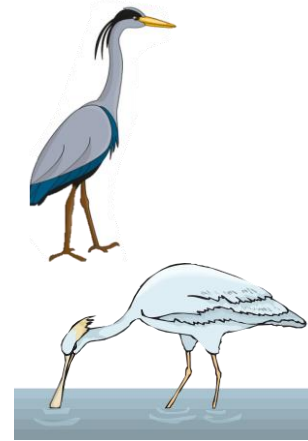
9%



9%



6%



## Etat d'avancement de mon travail : **Vitesses de vol**

### 1) Recherche bibliographique

- **Etudes « suivi radar »**: recueil des vitesses de vol de **180 espèces européennes**, en **migration ++**

*En cours* ○ **Etudes « suivi GPS »**: recueil des vitesses de vol pour de nouvelles espèces, en **vol local ++**



## Etat d'avancement de mon travail : **Vitesses de vol**

### 1) Recherche bibliographique

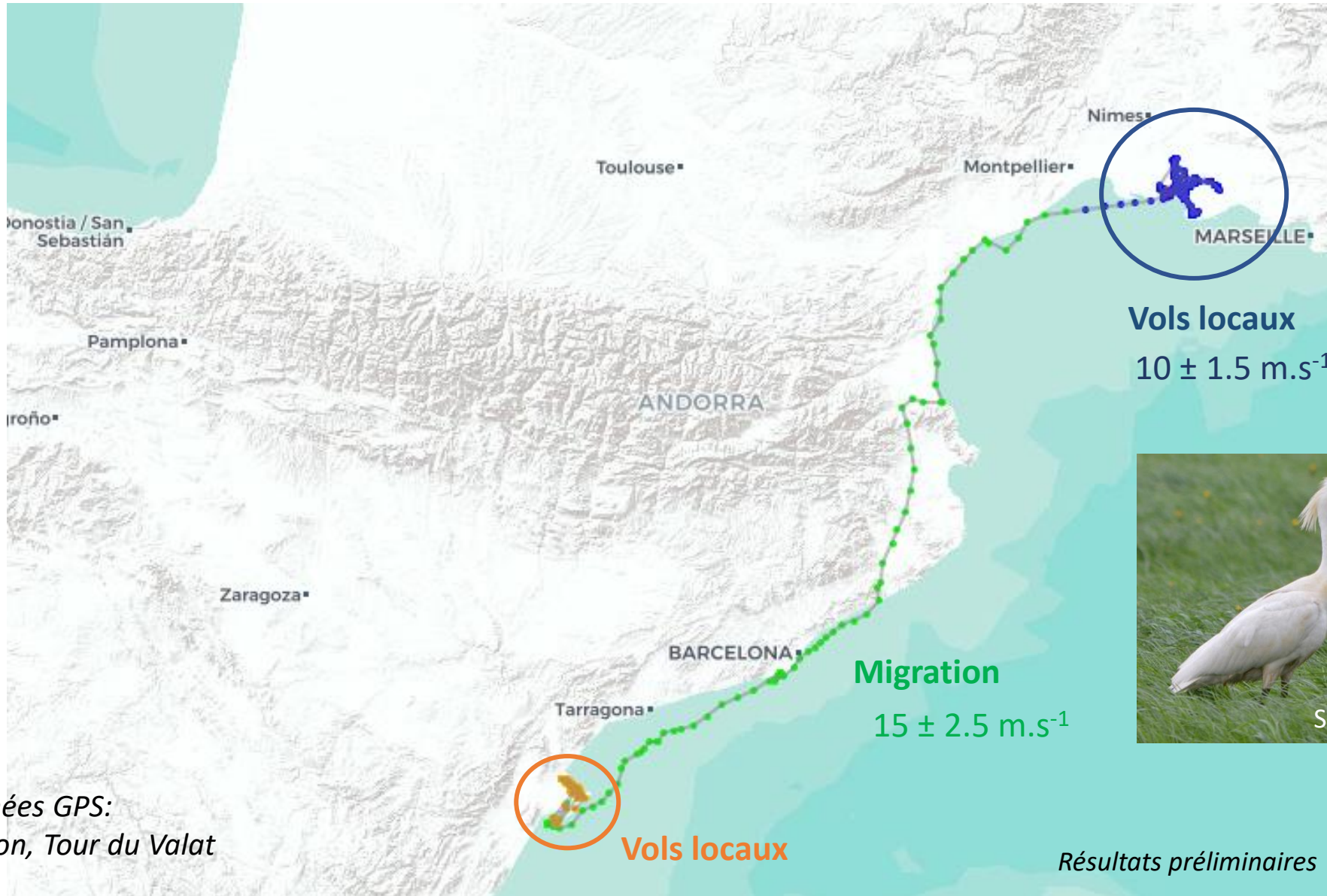
- **Etudes « suivi radar »**: recueil des vitesses de vol de **180 espèces européennes**, en **migration ++**

- En cours* ○ **Etudes « suivi GPS »**: recueil des vitesses de vol pour de nouvelles espèces, en **vol local ++**

### 2) Analyse de données GPS non publiées

- En cours* ○ **Test de méthodes** pour distinguer • Vols migratoires vs Vol locaux

# Segmentation de trajet



Collaboration données GPS:  
Jocelyn Champagnon, Tour du Valat

## Etat d'avancement de mon travail : **Vitesses de vol**

### 1) Recherche bibliographique

- **Etudes « suivi radar »**: recueil des vitesses de vol de **180 espèces européennes**, en **migration ++**

- En cours* ○ **Etudes « suivi GPS »**: recueil des vitesses de vol pour de nouvelles espèces, en **vol local ++**

### 2) Analyse de données GPS non publiées

- En cours* ○ **Test de méthodes** pour distinguer • Vols migratoires vs Vol locaux

- En cours* ○ **Recueil des données et analyses**

## Etat d'avancement de mon travail : **Vitesses de vol**

### 1) Recherche bibliographique

- **Etudes « suivi radar »**: recueil des vitesses de vol de **180 espèces européennes**, en **migration ++**

- En cours* ○ **Etudes « suivi GPS »**: recueil des vitesses de vol pour de nouvelles espèces, en **vol local ++**

### 2) Analyse de données GPS non publiées

- En cours* ○ **Test de méthodes** pour distinguer • Vols migratoires vs Vol locaux

- En cours* ○ **Recueil des données et analyses**

### 3) Modèles prédictifs (théories aérodynamiques)

Vitesses de vol (en m.s<sup>-1</sup>) du Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*)



Source	Type de suivi	Type de vol	Vitesse air (m.s <sup>-1</sup> ) (Moy ± SD)
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Plané	12.5 ± 1.7

## Vitesses de vol (en m.s<sup>-1</sup>) du Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*)



Source	Type de suivi	Type de vol	Vitesse air (m.s <sup>-1</sup> ) (Moy ± SD)
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Plané	12.5 ± 1.7
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Battu	11.1 ± 1.3
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Battu	11.4 ± 1.6
Alerstam et al. 2007	Radar	Battu	13.3 ± 2.7

## Vitesses de vol (en m.s<sup>-1</sup>) du Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*)



Source	Type de suivi	Type de vol	Vitesse air (m.s <sup>-1</sup> ) (Moy ± SD)
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Plané	12.5 ± 1.7
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Battu	11.1 ± 1.3
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Battu	11.4 ± 1.6
Alerstam et al. 2007	Radar	Battu	13.3 ± 2.7
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Mixte	13.7 ± 2.6

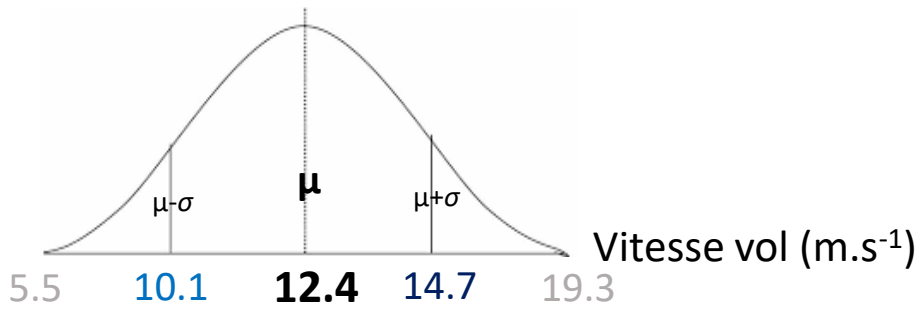
### Vitesses de vol (en m.s<sup>-1</sup>) du Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*)



Source	Type de suivi	Type de vol	Vitesse air (m.s <sup>-1</sup> ) (Moy ± SD)
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Plané	12.5 ± 1.7
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Battu	<b>11.1 ± 1.3</b>
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Battu	11.4 ± 1.6
Alerstam et al. 2007	Radar	Battu	13.3 ± 2.7
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Mixte	<b>13.7 ± 2.6</b>

Vitesse moyenne **mini** = **11.1 ± 1.3 m.s<sup>-1</sup>**

Vitesse moyenne **maxi** = **13.7 ± 2.6 m.s<sup>-1</sup>**

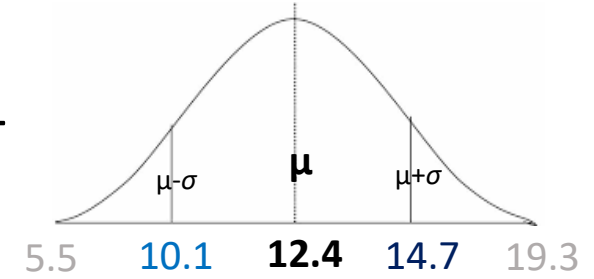




Distance détection minimale  $\sim T_{\text{décision}} + T_{\text{signal}} + T_{\text{rotor}} + \text{Vitesse de vol}$



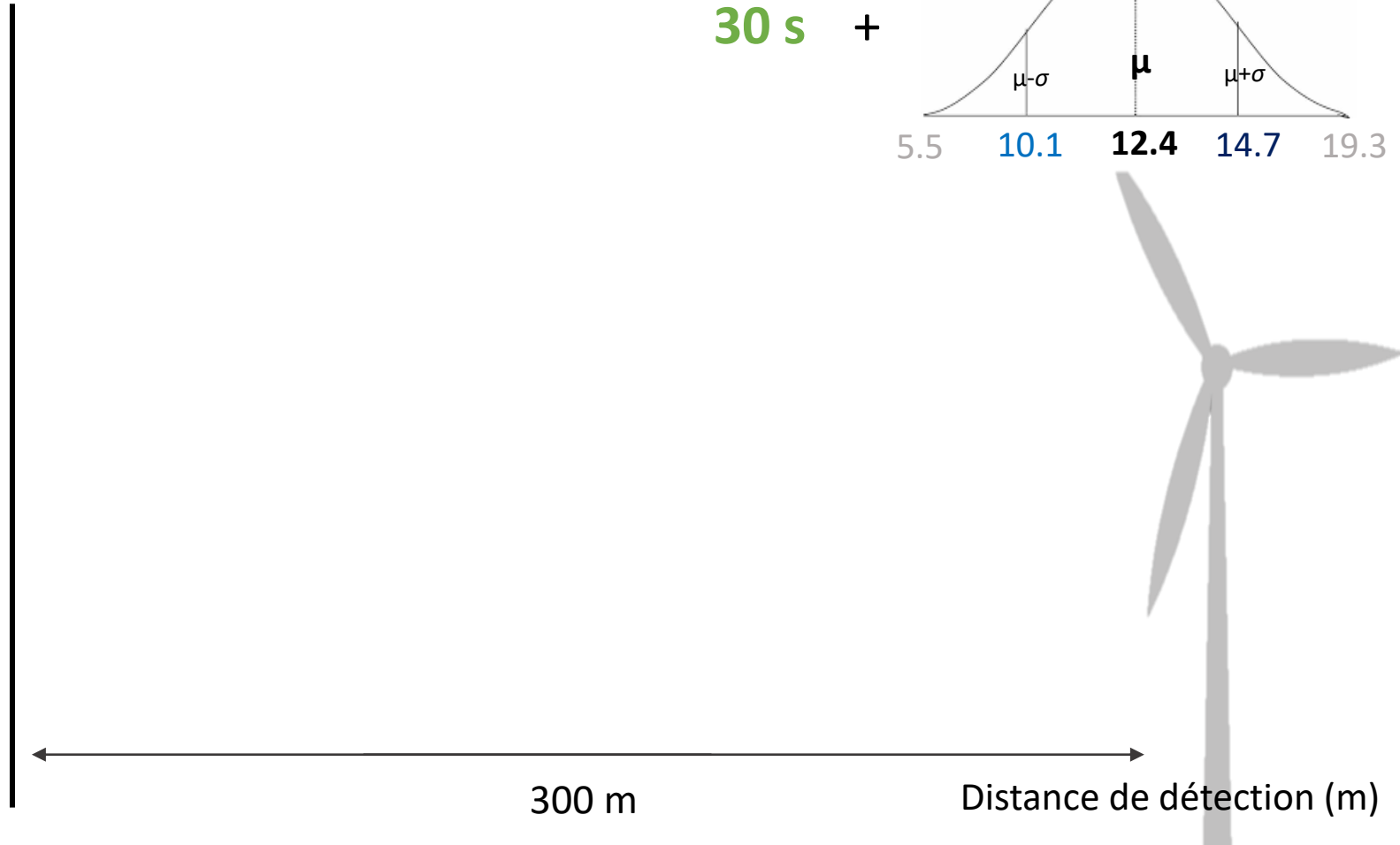
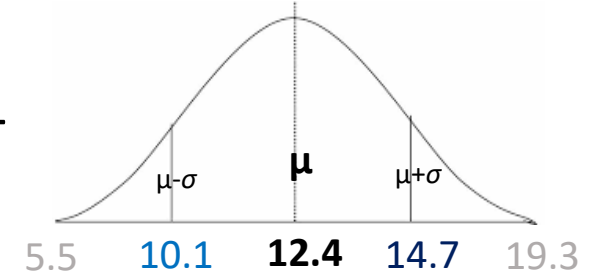
30 s +



Distance détection minimale  $\sim T_{\text{décision}} + T_{\text{signal}} + T_{\text{rotor}} + \text{Vitesse de vol}$



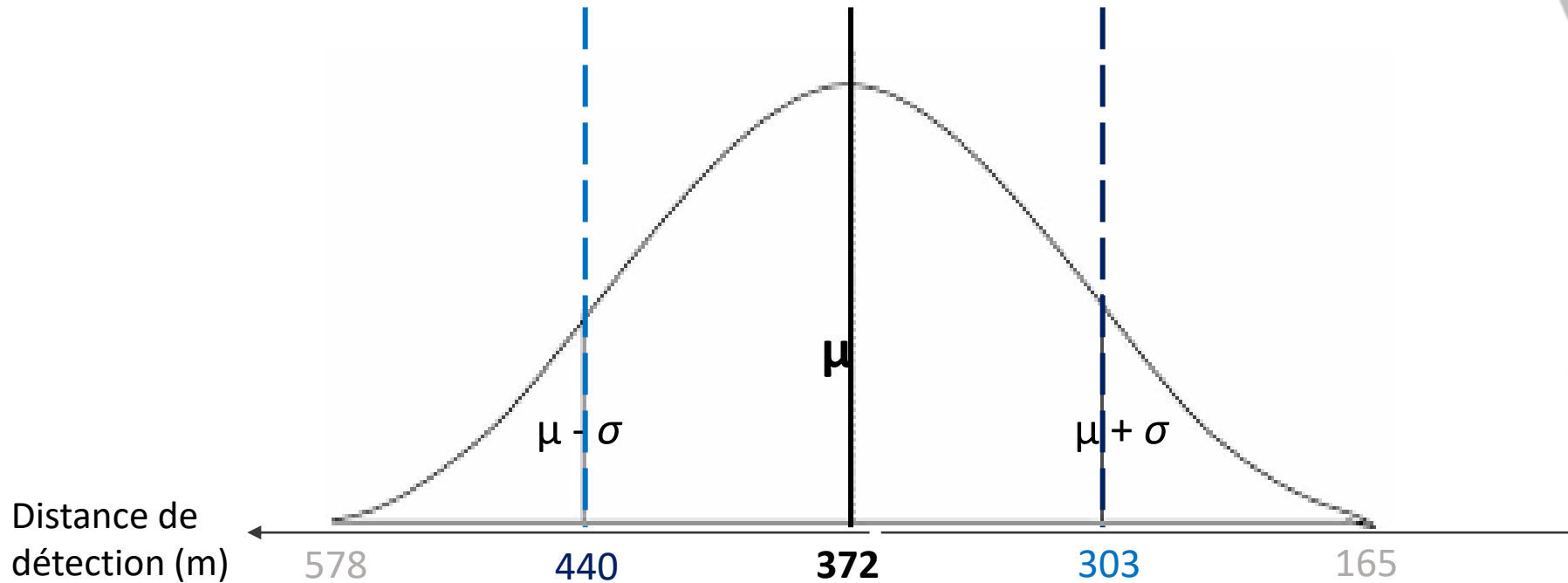
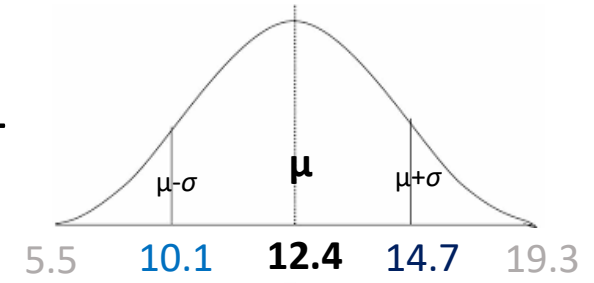
30 s +



Distance détection minimale  $\sim T_{\text{décision}} + T_{\text{signal}} + T_{\text{rotor}} + \text{Vitesse de vol}$



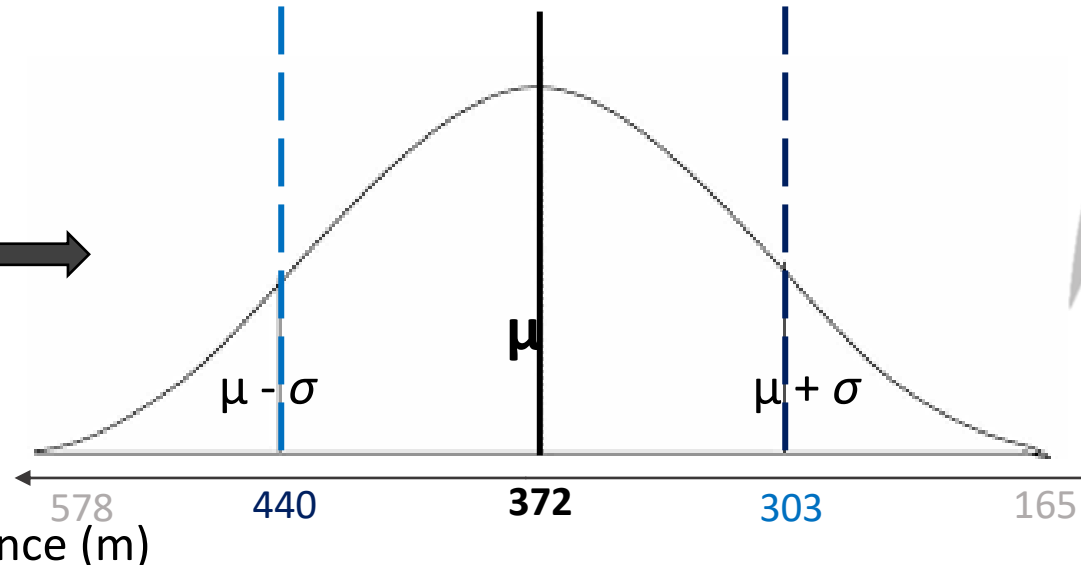
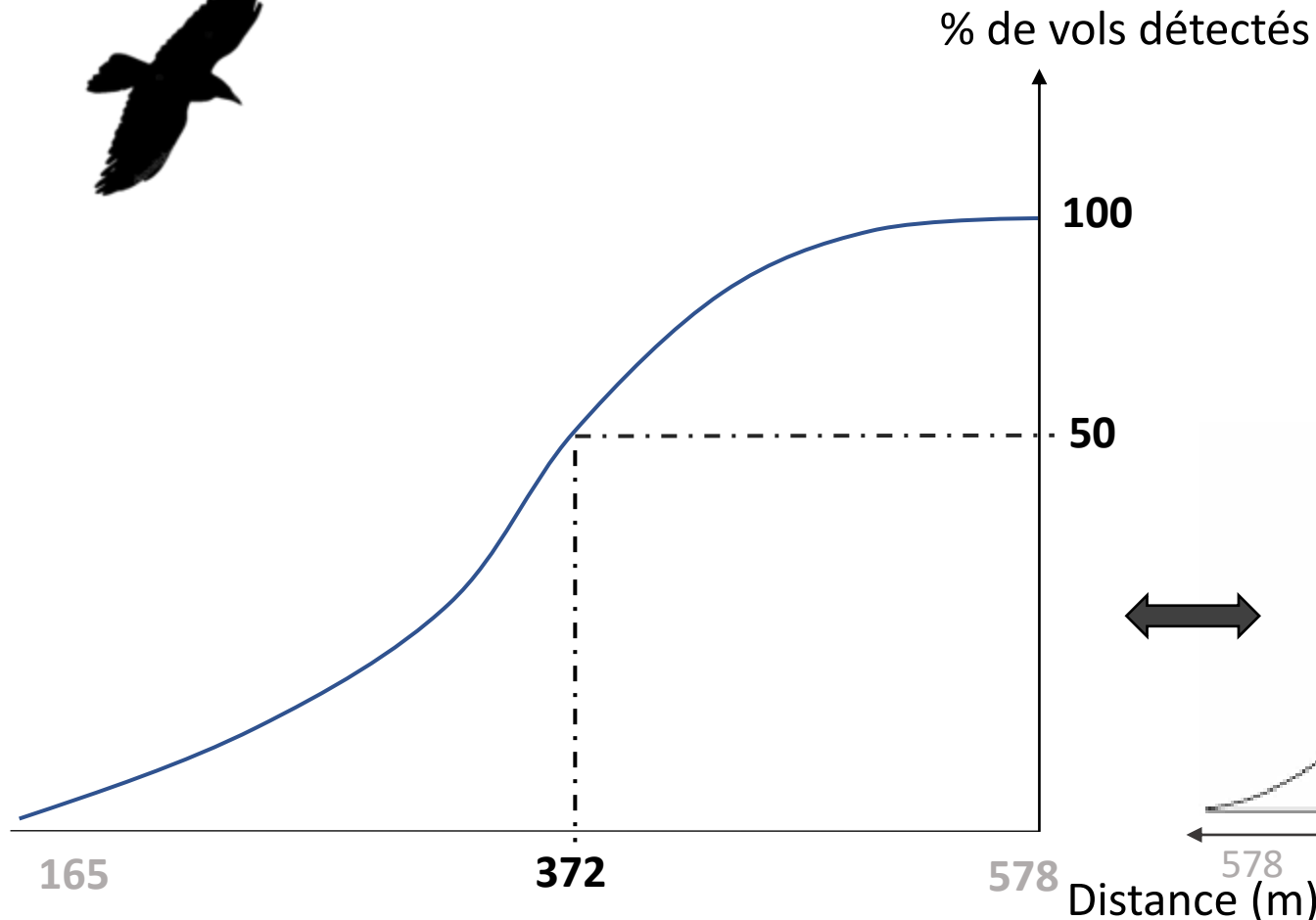
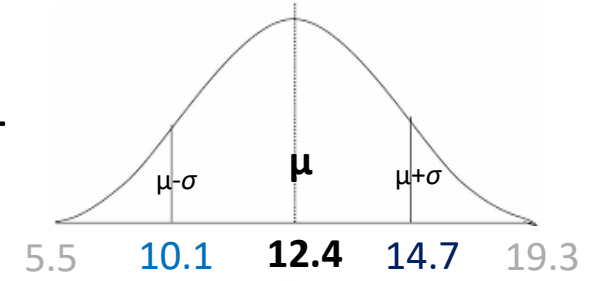
30 s +



Distance détection minimale  $\sim T_{\text{décision}} + T_{\text{signal}} + T_{\text{rotor}} + \text{Vitesse de vol}$



30 s +



Etat d'avancement de mon travail : **Réflexions 'outil'**

=> **Création d'une application web:** calcul des distances de détection des oiseaux

Utilisateurs: BE, exploitants éoliens, turbiniers, DREAL

Etat d'avancement de mon travail : **Réflexions 'outil'**

=> **Création d'une application web:** calcul des distances de détection des oiseaux

Utilisateurs: BE, exploitants éoliens, turbiniers, DREAL

Formule KNE\* (2019):

$$\text{Distance détection} = [(T_{\text{décision}} + T_{\text{signal}} + T_{\text{rotor}}) \times \text{Vitesse de vol}] + L_{\text{rotor}}$$

\* Centre de compétences pour la protection de la nature et la transition énergétique (Allemagne)

E  
N  
T  
R  
É  
E

$T_{\text{décision}}$

$T_{\text{signal}}$

$L_{\text{rotor}}$

~ Système détection

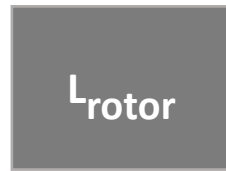
~ Modèle turbine



*A saisir par utilisateur*

# Création d'une application web

E  
N  
T  
R  
É  
E



~ Système détection

~ Modèle turbine

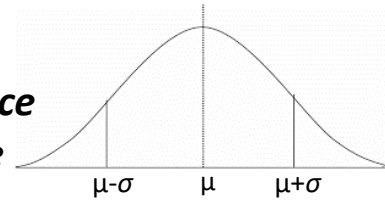
~ Modèle turbine +  $V_{vent}$



*A saisir par utilisateur*



**Pré-paramétré grâce à notre protocole**





# Création d'une application web

E  
N  
T  
R  
É  
E

$T_{\text{décision}}$

$T_{\text{signal}}$

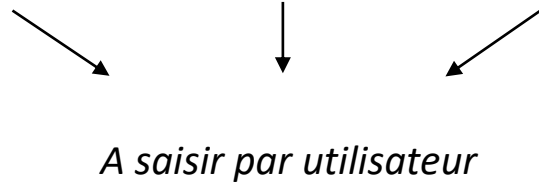
$L_{\text{rotor}}$

$T_{\text{rotor}}$

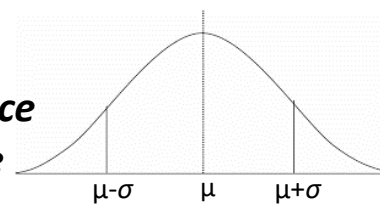
~ Système détection

~ Modèle turbine

~ Modèle turbine +  $V_{\text{vent}}$



Pré-paramétré grâce  
à notre protocole

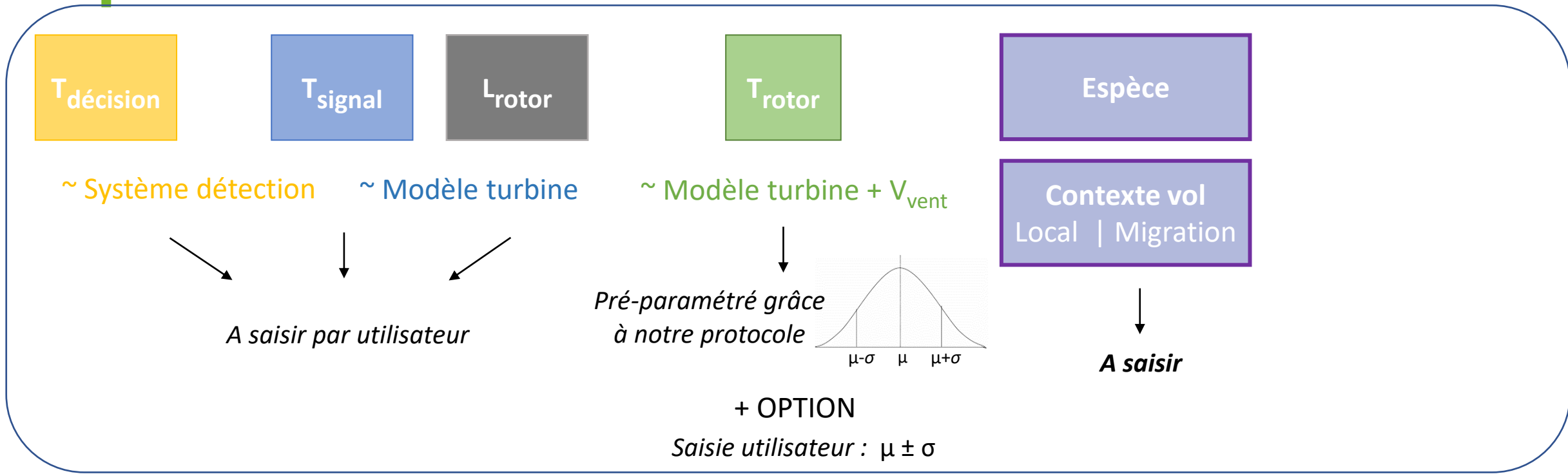


+ OPTION

Saisie utilisateur :  $\mu \pm \sigma$

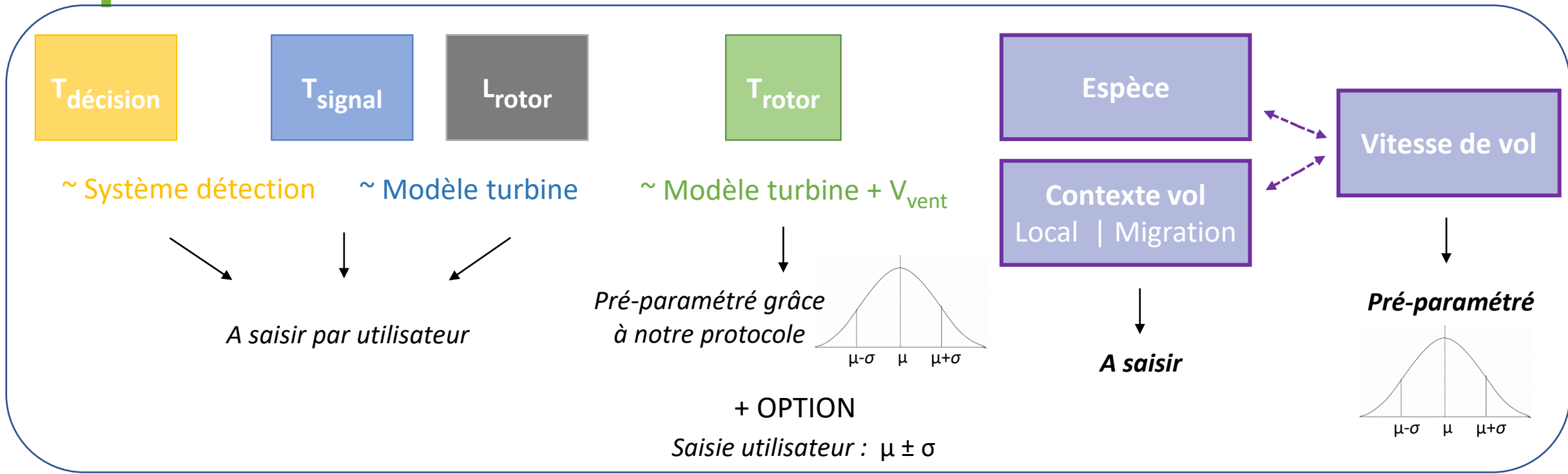
# Création d'une application web

E  
N  
T  
R  
É  
E



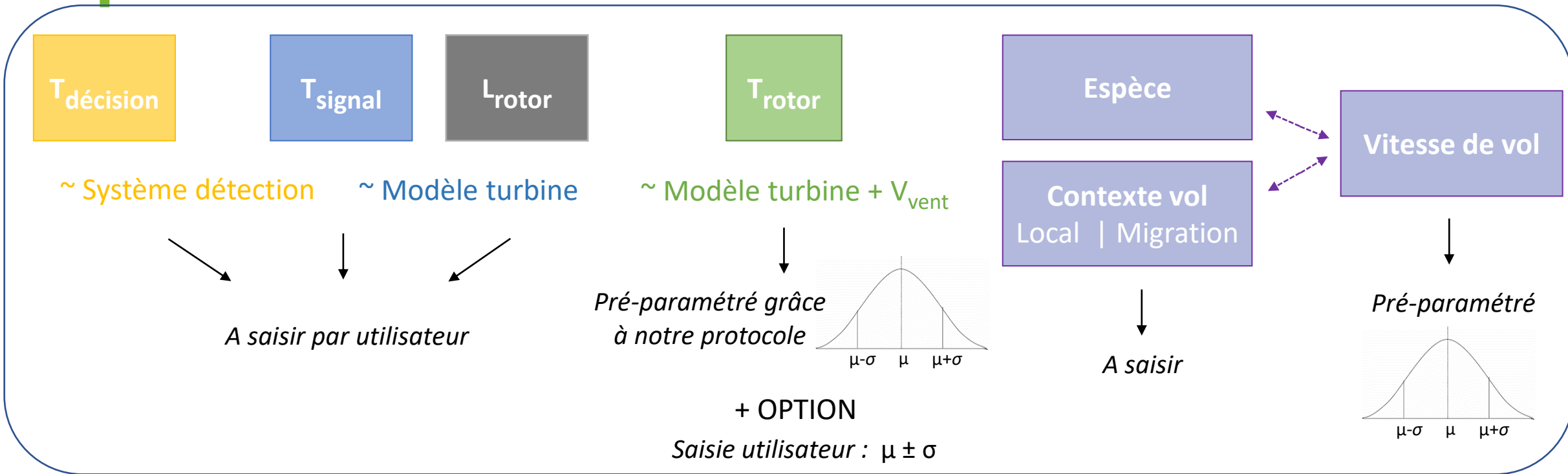
# Création d'une application web

ENTRÉE



# Création d'une application web

ENTRÉE

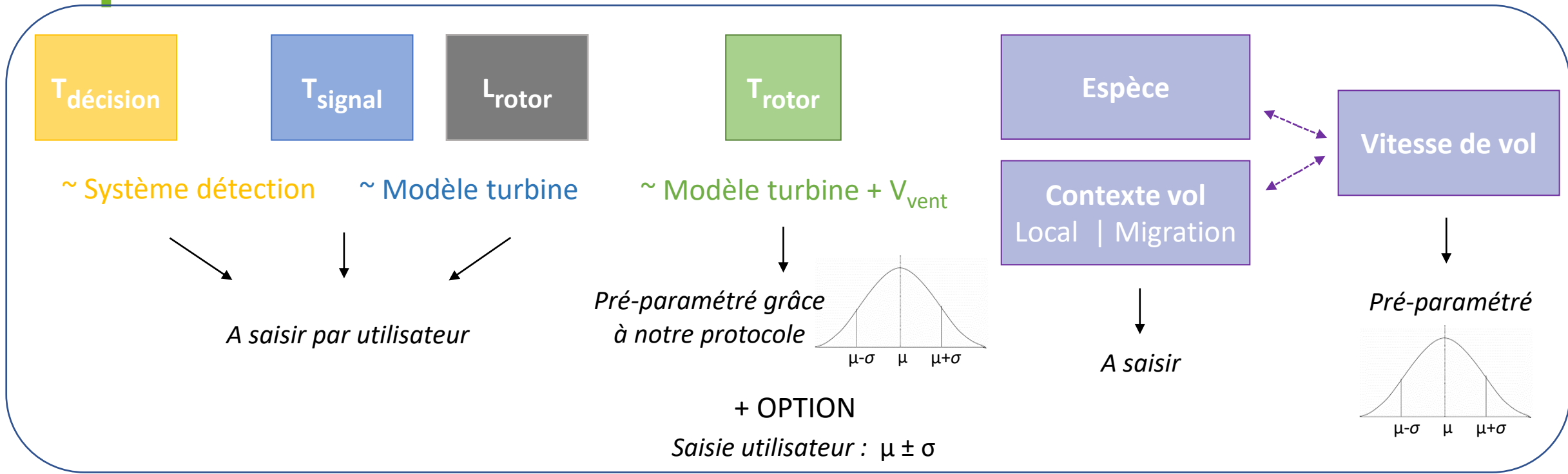


SORTIE

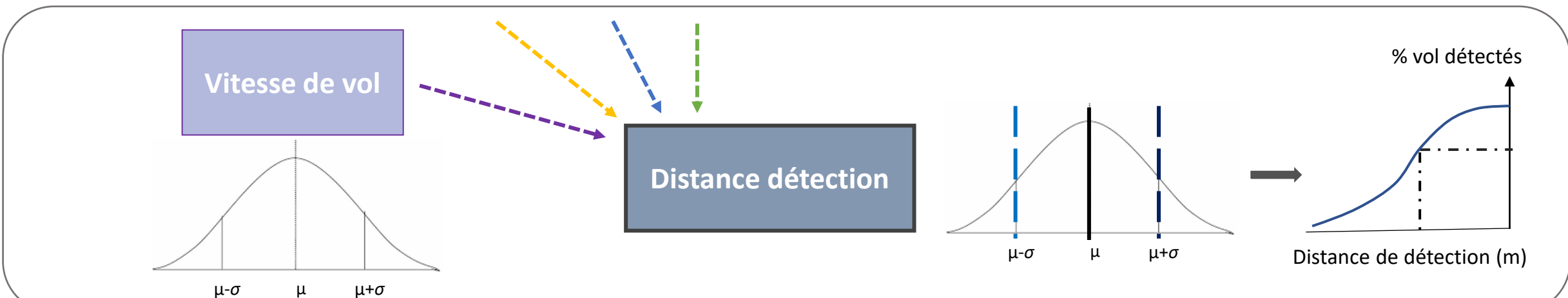


# Création d'une application web

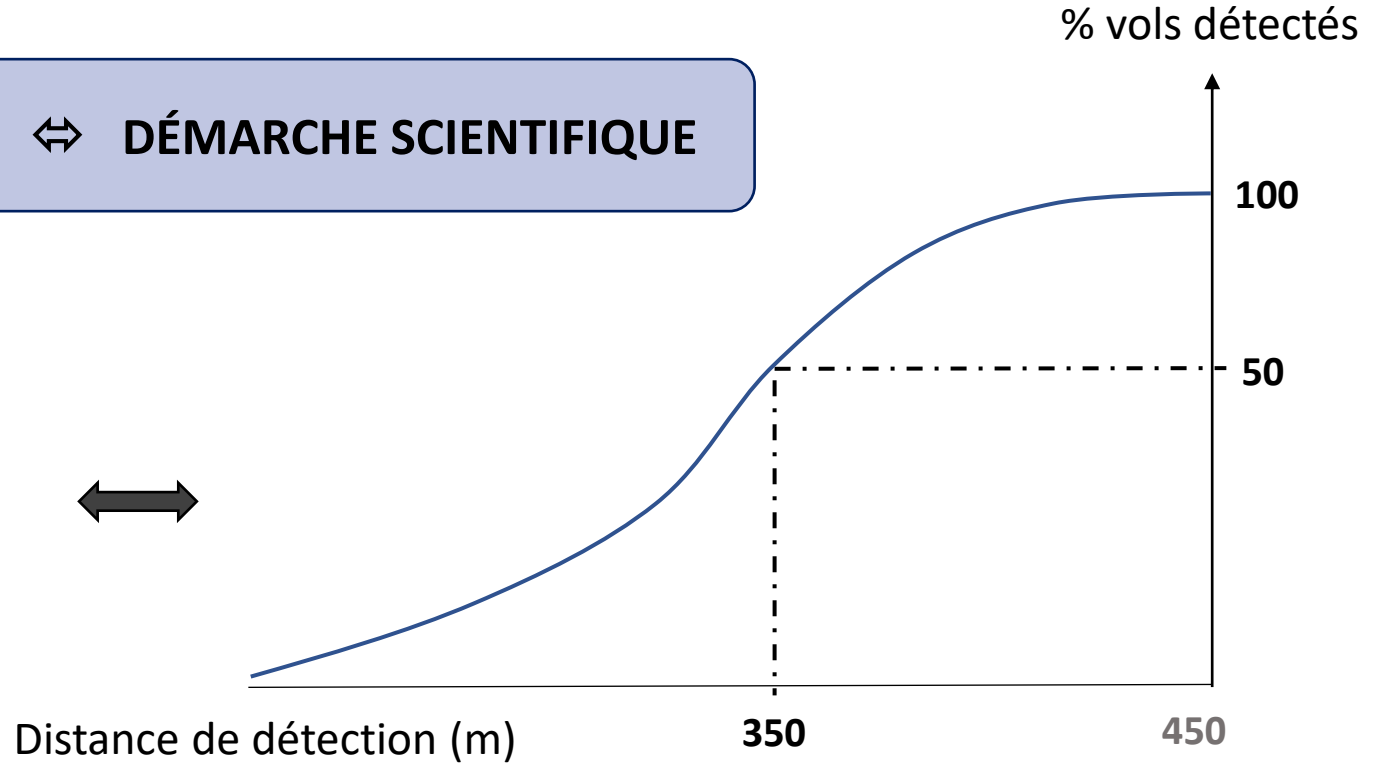
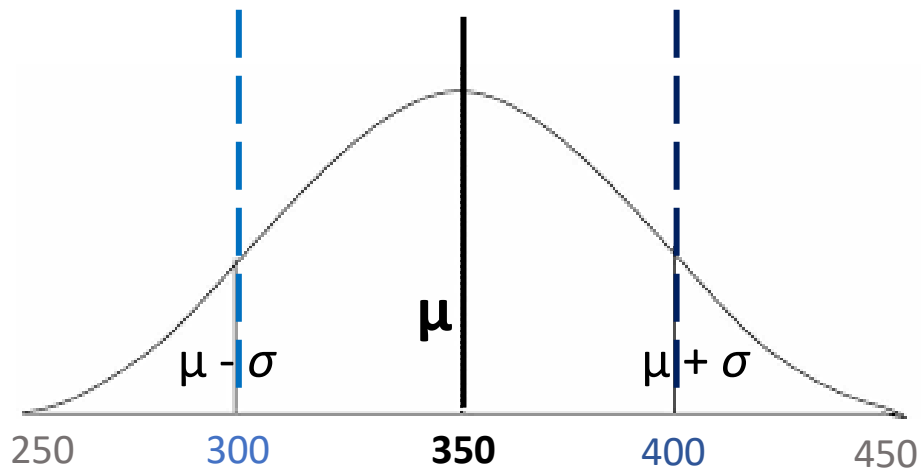
ENTRÉE



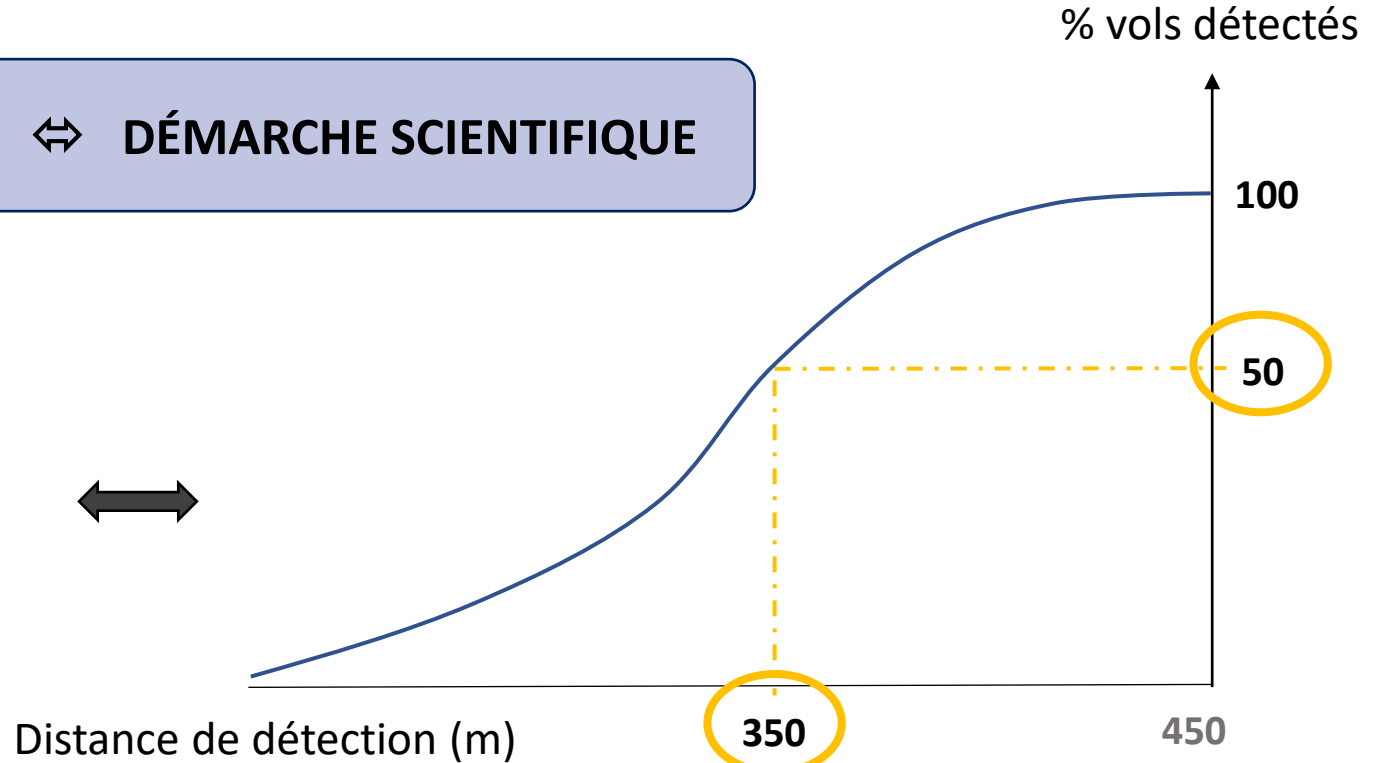
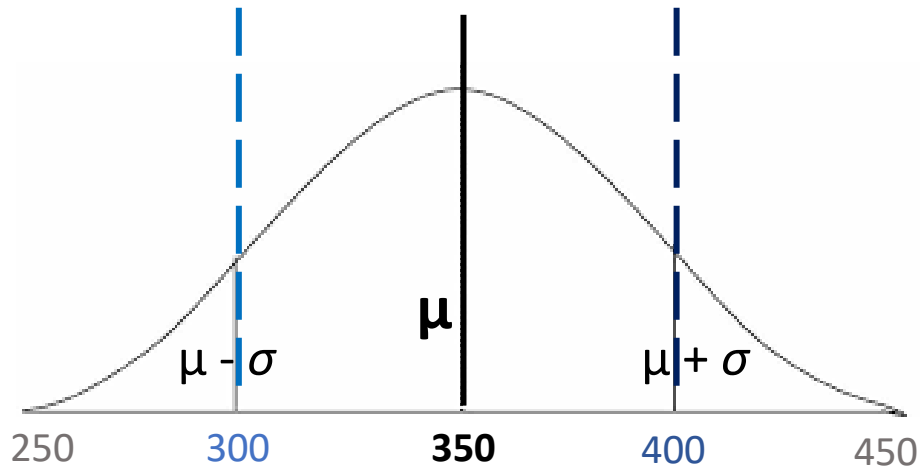
SORTIE



Proposition d'un outil pour INFORMER ⇔ DÉMARCHE SCIENTIFIQUE



Proposition d'un outil pour INFORMER ⇔ DÉMARCHE SCIENTIFIQUE



CHOIX des distances de détection ⇔ DÉCISION SOCIÉTALE / POLITIQUE

# Merci de votre attention !



AGIR pour la BIODIVERSITÉ



UPGÉ

ABO WIND



BORALEX



NEOEN

RES

RWE

SIEMENS Gamesa RENEWABLE ENERGY



valeco

VALOREM opérateur en énergies vertes

Vestas



voltalia

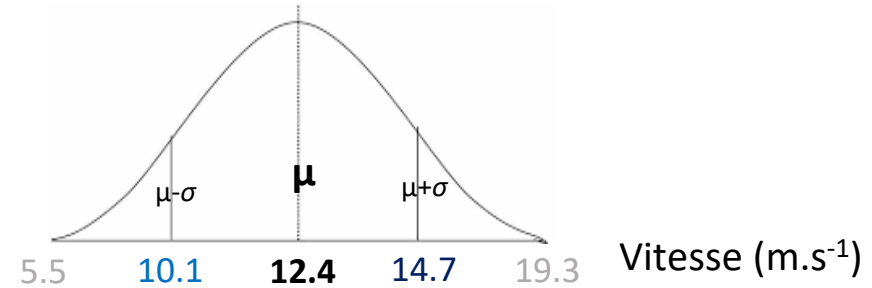




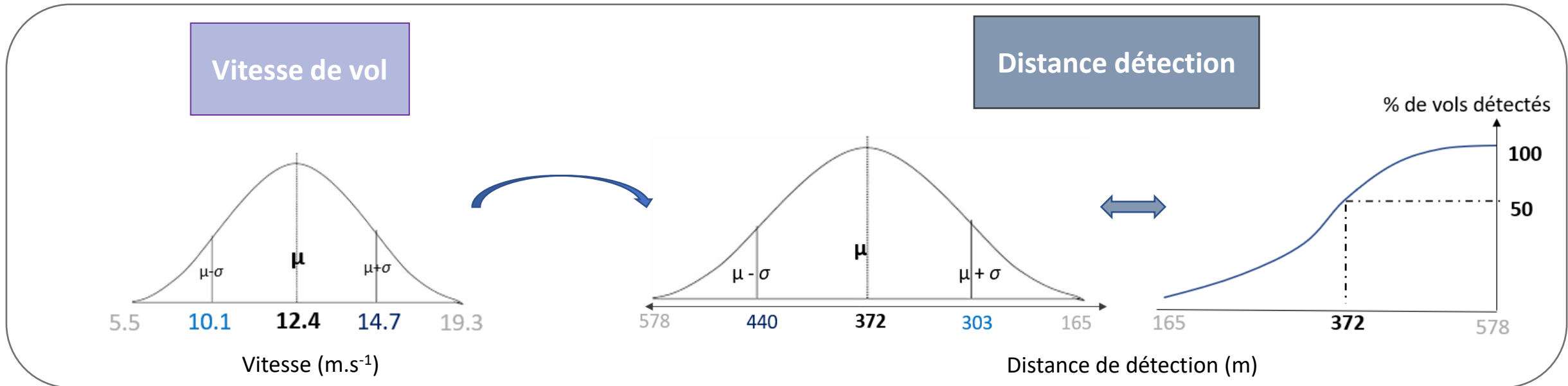
# WP3 R3: déterminer les distances de détection minimales des oiseaux

$$\text{Distance détection} = [(T_{\text{décision}} + T_{\text{signal}} + T_{\text{rotor}}) \times \text{Vitesse de vol}] + L_{\text{rotor}}$$

➤ Distribution des vitesses de vol de l'espèce cible

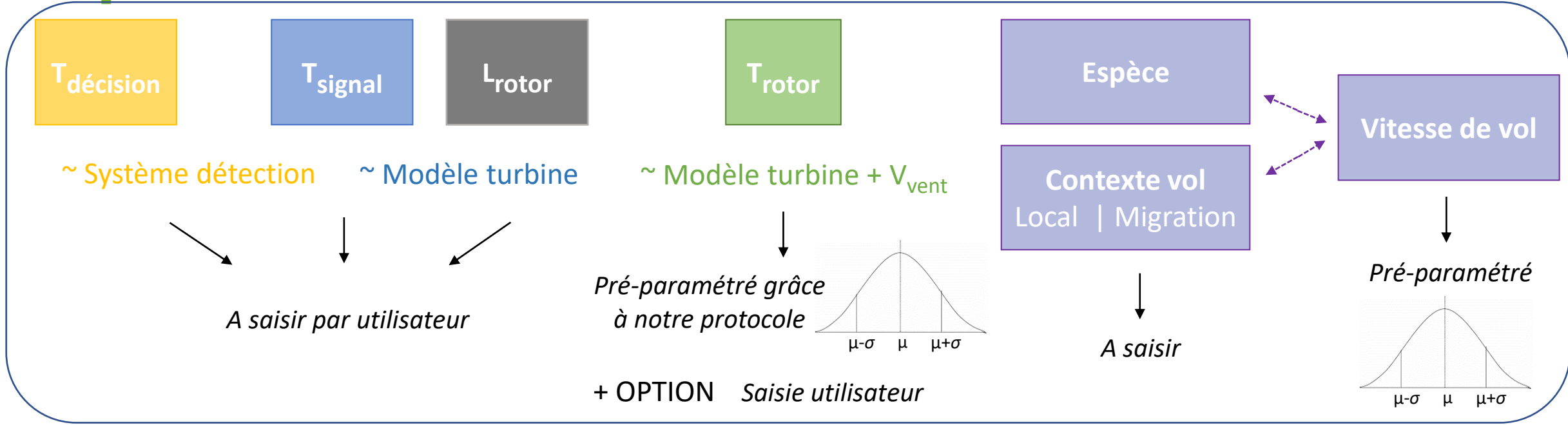


➤ Application web

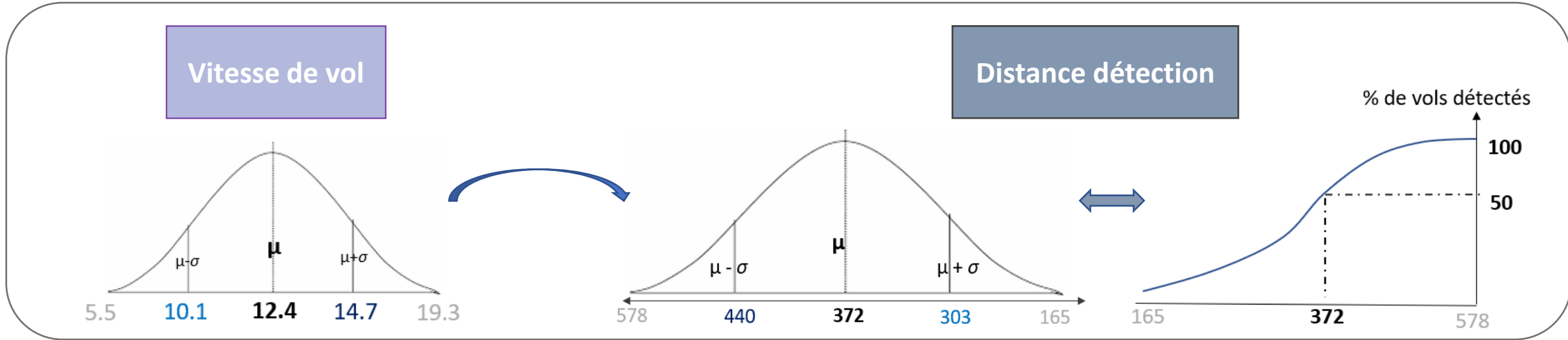


# Application web proposée

ENTRÉE



SORTIE



## L'application web

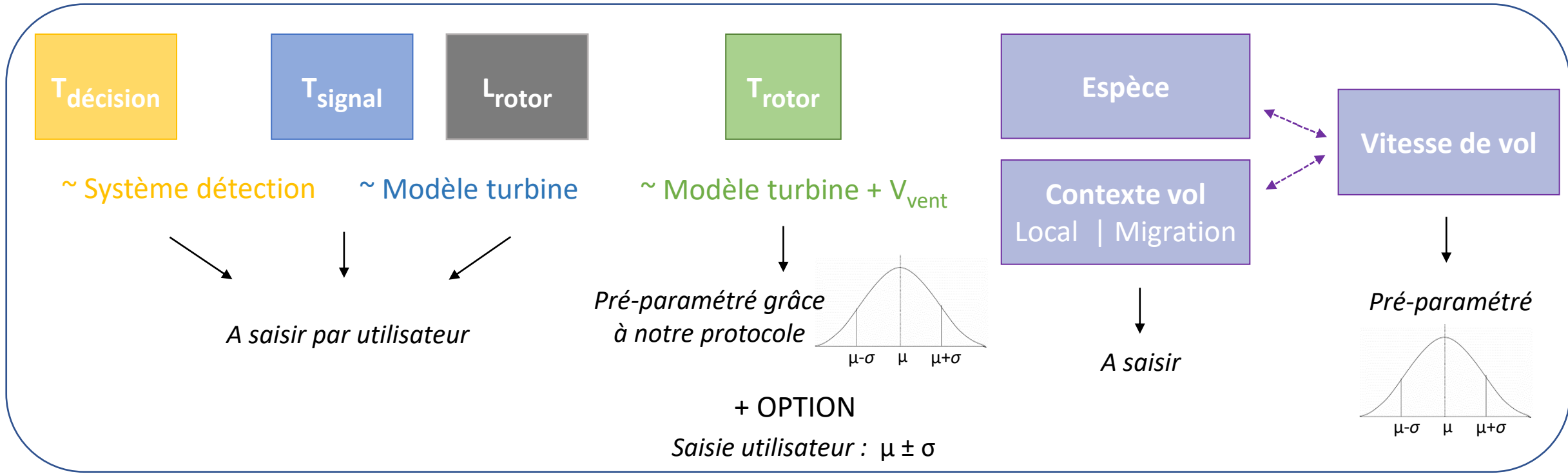


➤ Quelles sont vos attentes?



➤ Que pensez-vous des paramètres en entrée ?

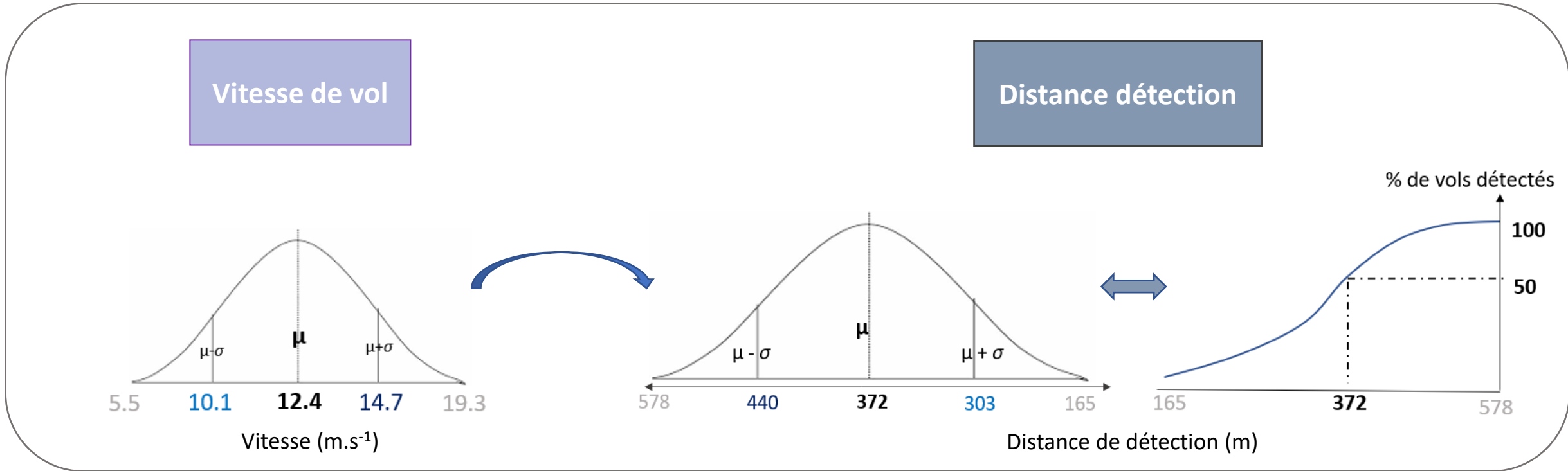
ENTRÉE





➤ Que pensez-vous des paramètres en sortie ?

S  
O  
R  
T  
I  
E



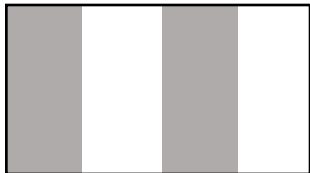
## Le temps de ralentissement / arrêt du rotor

- **Que considérez-vous comme un « arrêt » et « ralentissement » du rotor?**
- **Quels paramètres influencent  $T_{\text{rotor}}$  ?**
- **Comment le mesurez-vous?**
  - Enregistrement possible de la vitesse de rotation du rotor par le SCADA, en temps réel ?  
par seconde?
  - Programme existant ?



## WP R4 : Mieux comprendre la perception des éoliennes par les oiseaux

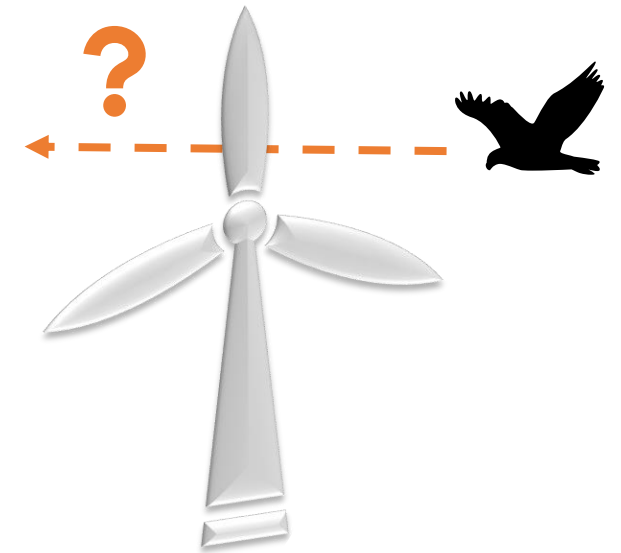
Vision du contraste



Perception du mouvement rotatif



Prise de décision



## Le temps de ralentissement / arrêt du rotor

➤ Que considérez-vous comme un « arrêt » et « ralentissement » du rotor?

Exemple au Portugal:

- $T_{\text{rotor}} \approx 15$  secondes
- Vitesse de rotation résiduelle  $\approx 1$  rpm







Déplacement horizontal

*Vol plané*

*Vol battu*

**Vol stationnaire**  
avec/sans déplacement vertical



Distance parcourue  
& Vitesse relative au sol

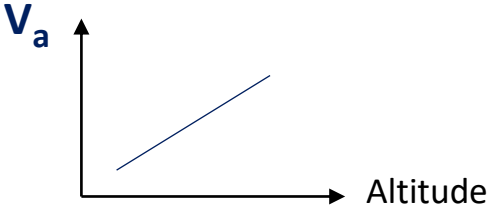
+ à +++

± 0

VARIABILITÉ des vitesses de vol mesurées

1) **Vitesse air** = vitesse de déplacement dans la masse d'air = vent relatif

- Vitesse air 'classique' ( $V_a$ )
  - Vitesse air recalculée au niveau de la mer ( $EqV_a$ )
- }  $EqV_a < V_a$



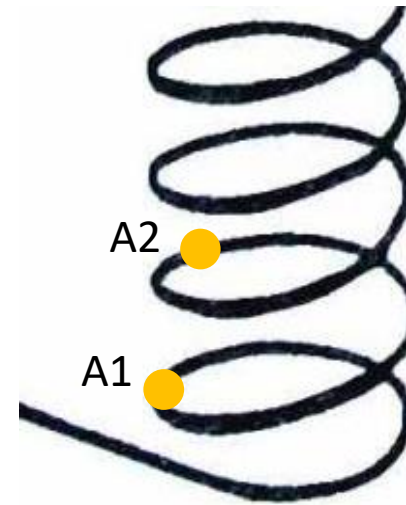
VARIABILITÉ des vitesses de vol mesurées

1) Vitesse air = vitesse de déplacement dans la masse d'air = vent relatif

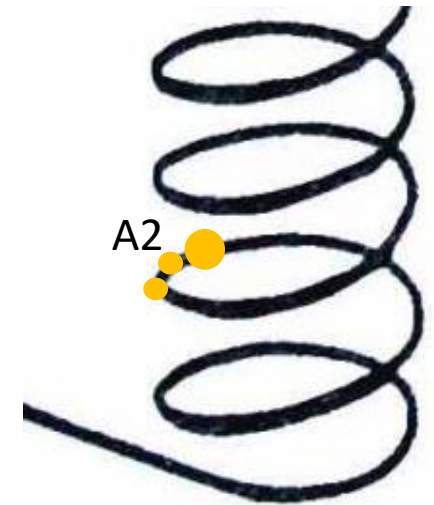
- Vitesse air 'classique' ( $V_a$ )
- Vitesse air recalculée au niveau de la mer ( $EqV_a$ )

2) **Vitesse sol** = vitesse de déplacement par rapport au sol

- Vitesse sol moyenne ( $V_s$ )
- Vitesse sol instantanée ( $V_i$ )



$V_s$  faible



$V_i \pm$  élevée

Liste des **32 espèces** à enjeux proposée par les exploitants de parcs éoliens

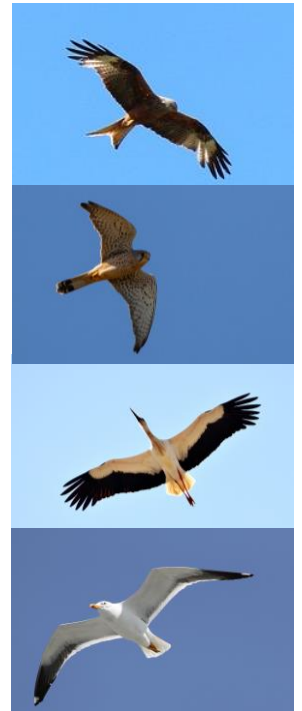
**WP3 : Rapaces  
+ grands voiliers**

- Vitesses vol en migration pour **24 espèces**
- Vitesses vol en local pour **6 espèces**
- Pas de vitesse de vol pour **5 espèces**

Liste espèces à enjeux projet MAPE	Ordre/Famille	1) Espèces à enjeu en termes d'occurrence (Marx 2019 + T Durr)	2) Espèces à enjeu en termes de conservation (LR VU, EN + PNA + An.I DO + cibles DREAL)	Vitesse vol migration	Vitesse vol local
Aigle botté	Accipitriformes			X	
Aigle de Bonelli	Accipitriformes		X	X	
Aigle royal	Accipitriformes		X		X
Autour des palombes	Accipitriformes		X	X	
Balbusard pêcheur	Accipitriformes		X	X	
Bondrée apivore	Accipitriformes		X	X	
Busard cendré	Accipitriformes	X	X	X	
Busard des roseaux	Accipitriformes		X	X	
Busard Saint-Martin	Accipitriformes		X	X	
Buse variable	Accipitriformes	XX		X	
Chouette hulotte	Strigiformes				
Cigogne blanche	Pelecaniformes	X	X	X	
Cigogne noire	Pelecaniformes		X	X	
Circaète Jean le Blanc	Accipitriformes			X	
Effraie des clochers	Strigiformes				
Epervier d'Europe	Accipitriformes	X		X	
Faucon crécerelle	Accipitriformes	XX	X	X	
Faucon crécerellette	Accipitriformes	X	X	X	X
Faucon hobereau	Accipitriformes			X	
Faucon pèlerin	Accipitriformes		X	X	X
Goéland argenté	Laridés	XX		X	
Goéland brun	Laridés	X		X	X
Grand Duc d'Europe	Strigiformes		X		
Grue cendrée	Gruiformes		X	X	
Gypaète barbu	Accipitriformes		X		
Hibou des marais	Strigiformes		X	X	
Milan noir	Accipitriformes	XX	X	X	
Milan royal	Accipitriformes	XX	X	X	
Pygarge à queue blanche	Accipitriformes	X	X	X	
Vautour fauve	Accipitriformes	X	X		X
Vautour moine	Accipitriformes		X		
Vautour percnoptère	Accipitriformes		X		X

## Exemples de vitesses de vol en migration

Source	Espèce	Famille	Type de vol	Vitesse air (m.s <sup>-1</sup> ) (Moy ± SD)
Bruderer & Boldt 2001	Milan royal	Accipitridés	Plané	14.8 ± 0.9
Alerstam et al. 2007	Milan royal	Accipitridés	Battu	12.0 ± 0.3
Bruderer & Boldt 2001	Faucon crécerelle	Falconidés	Battu	12.3 ± 2.5
Pennycuick et al. 2013	Faucon crécerelle	Falconidés	Battu	12.6 ± 2.3
Alerstam et al. 2007	Cigogne blanche	Ciconiidés	Battu	9.1 ± 1.2
Bruderer & Boldt 2001	Cigogne blanche	Ciconiidés	Battu	13.9 ± 2.9
Alerstam et al. 2007	Goéland argenté	Laridés	Battu	12.8 ± 1.8
Pennycuick et al. 2013	Goéland argenté	Laridés	Battu	13.4 ± 1.4



## Exemples de vitesses en vol local

Source	Espèce	Famille	Type de vol	Vitesse air (m.s <sup>-1</sup> ) (Moy ± SD)
Bruderer & Boldt 2001	Vautour percnoptère	Accipitridés	Plané	15.6 ± 2.3
Bruderer & Boldt 2001	Vautour percnoptère	Accipitridés	Battu	12.6 ± 2.5
Bruderer & Boldt 2001	Vautour fauve	Accipitridés	Plané	16.0 ± 2.6
Bruderer & Boldt 2001	Aigle royal	Accipitridés	Plané	15.1 ± 1.7





## Vitesses de vol (en m.s<sup>-1</sup>) du Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*)

M  
I  
G  
R  
A  
T  
I  
O  
N

Source	Type de suivi	Type de vol	Vitesse air (m.s <sup>-1</sup> ) (Moy ± SD)
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Plané	12.5 ± 1.7
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Battu	<b>11.1 ± 1.3</b>
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Battu	11.4 ± 1.6
Alerstam et al. 2007	Radar	Battu	13.3 ± 2.7
Bruderer & Boldt 2001	Radar	Mixte	<b>13.7 ± 2.6</b>

`rnorm(N, μ=12.5, σ=1.7)`

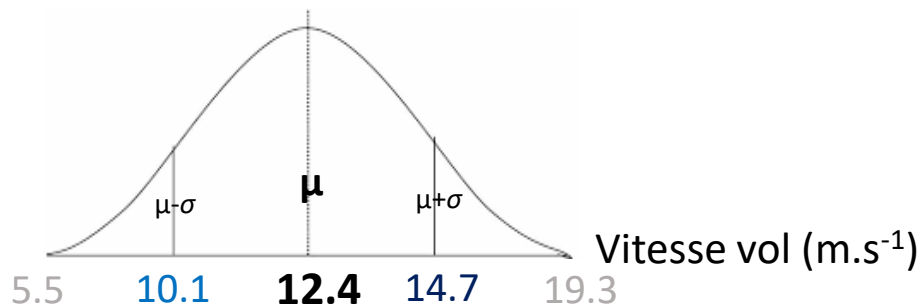
`rnorm(N, μ=11.1, σ=1.3)`

`rnorm(N, μ=11.4, σ=1.6)`

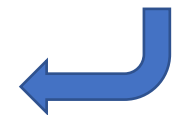
`rnorm(N, μ=13.3, σ=2.7)`

`rnorm(N, μ=13.7, σ=2.6)`

*Avec N = 10 000 tirages aléatoires*



Calcul de la moyenne et de l'écart-type des 50 000 valeurs générées



## 3<sup>ème</sup> Séminaire MAPE

### « Réduction de la Mortalité Aviaire dans les Parcs Éoliens en exploitation »

Workpackage 3 : Informations pour améliorer les solutions pour réduire la mortalité aviaire dans les parcs éoliens

R4 : Mieux comprendre la perception des éoliennes par les oiseaux

Constance Blary

30 mars 2021



➤ **Objectif MAPE = Concilier développement éolien et conservation de la biodiversité**



**Volet  
Recherche**

WP1 : Comprendre les conditions favorisant les collisions d'oiseaux

WP2 : Déterminer les seuils de mortalité soutenables pour les populations d'oiseaux

**WP3** : Informations pour améliorer les solutions de réduction de la mortalité aviaire

- R3: Déterminer distances de détection minimales des oiseaux pour éviter collisions
- **R4: Comprendre la perception des éoliennes par les oiseaux**
- R5: Identifier meilleurs méthodes d'effarouchement

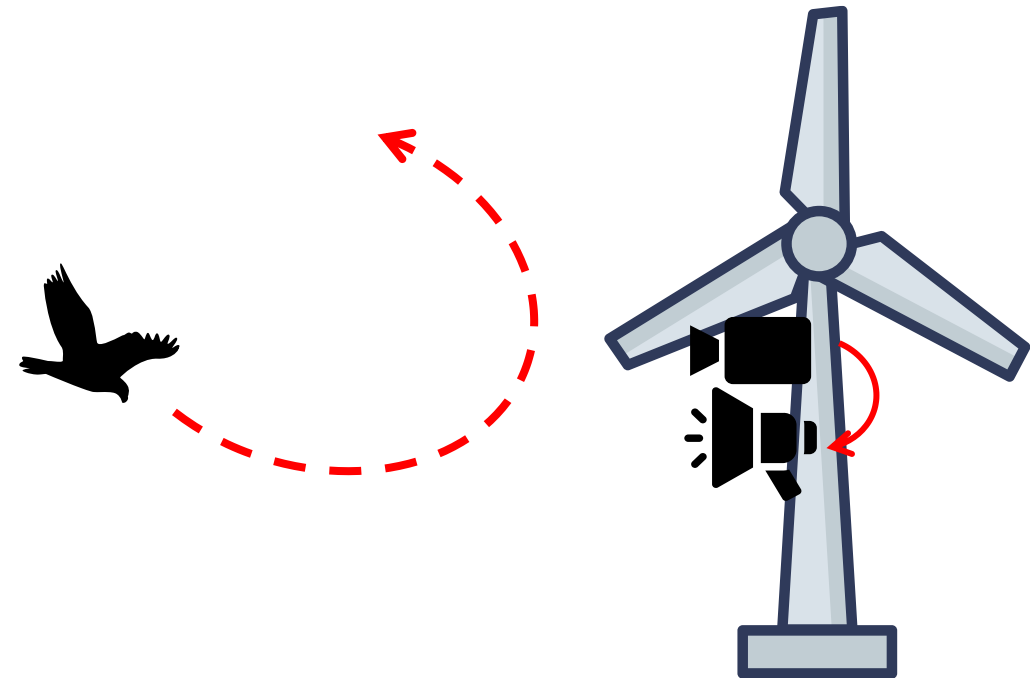
**Volet  
Protocole**

WP4 : Evaluer les dispositifs de détection actuels

# Réduire la mortalité aviaire

3 solutions :

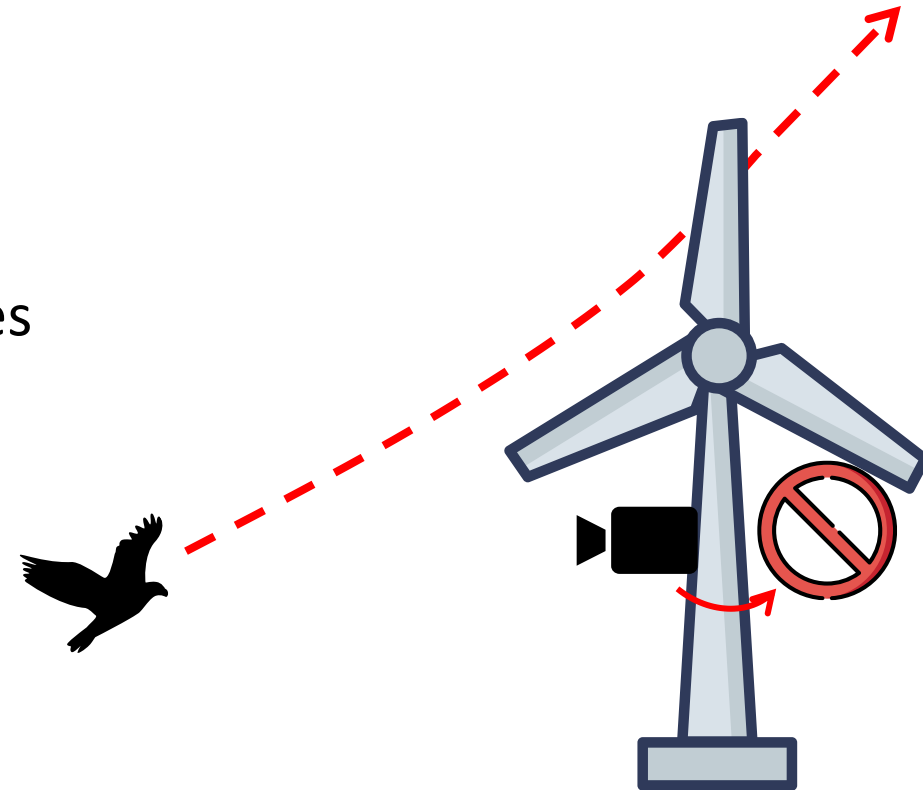
- Repousser l'oiseau (effarouchement)



# Réduire la mortalité aviaire

3 solutions :

- Repousser l'oiseau (effarouchement)
- Détecter l'oiseau pour arrêter les éoliennes

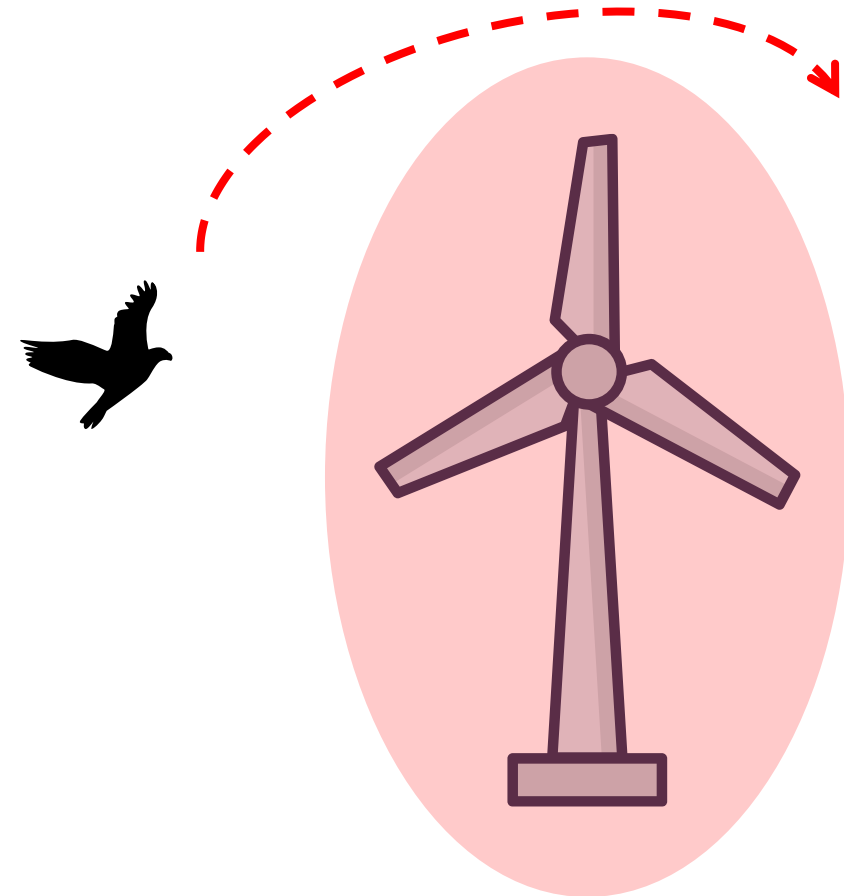


# Réduire la mortalité aviaire

3 solutions :

- Repousser l'oiseau (effarouchement)
- Détecter l'oiseau pour arrêter les éoliennes
- Faire en sorte que l'oiseau évite les éoliennes

**WP3 – R4**



# Origine des collisions ?

Si l'oiseau ne distingue pas les éoliennes :

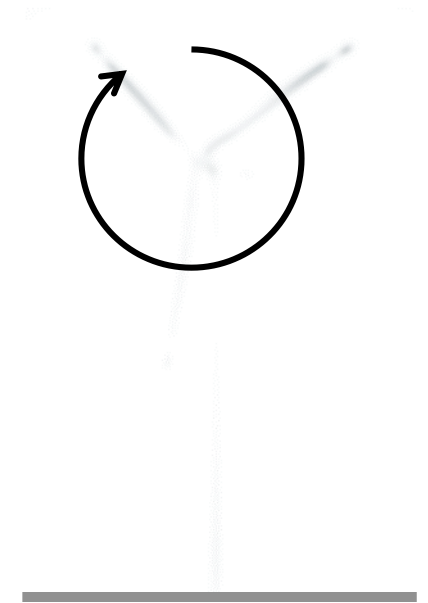
- Acuité visuelle
- Contraste
- Mouvement rotatif



# Origine des collisions ?

Si l'oiseau ne distingue pas les éoliennes :

- Acuité visuelle
- Contraste
- Mouvement rotatif



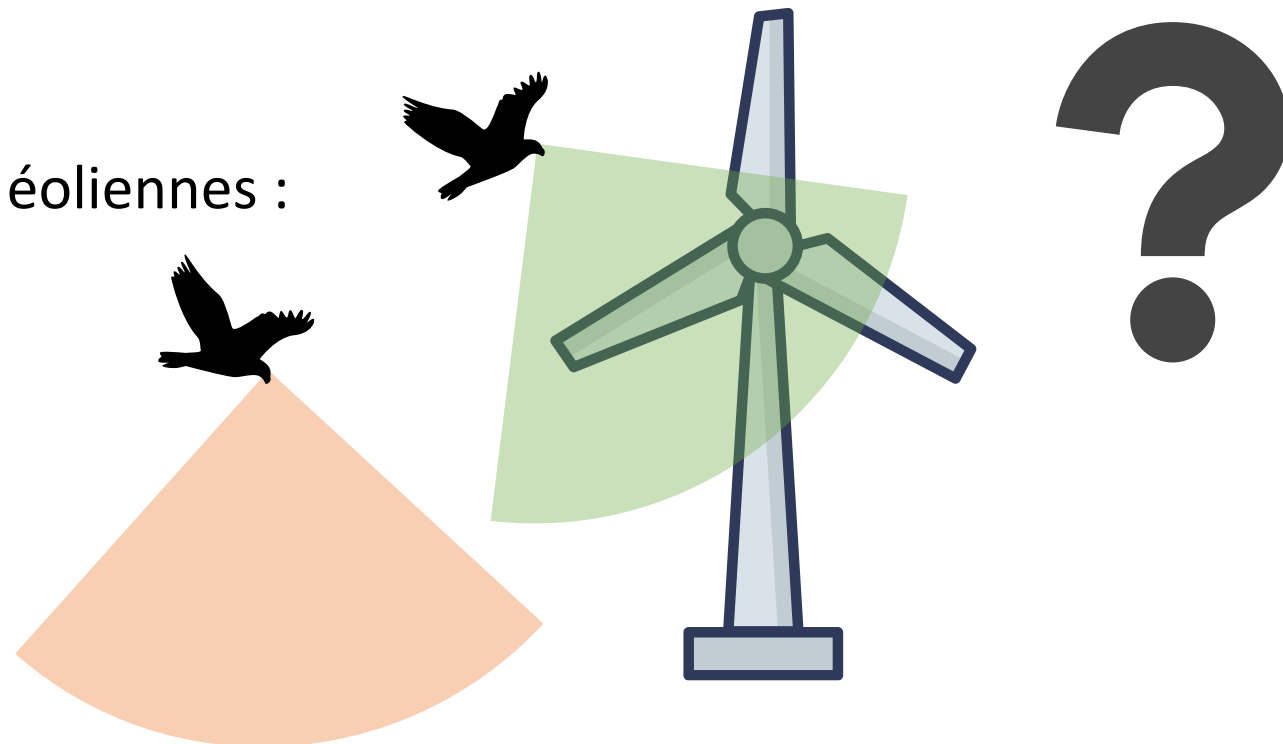
# Origine des collisions ?

Si l'oiseau ne distingue pas les éoliennes :

- Acuité visuelle
- Contraste
- Mouvement rotatif

Si l'oiseau ne regarde pas les éoliennes :

- Champs de vision
- Comportement



# Origine des collisions ?

Si l'oiseau ne distingue pas les éoliennes :

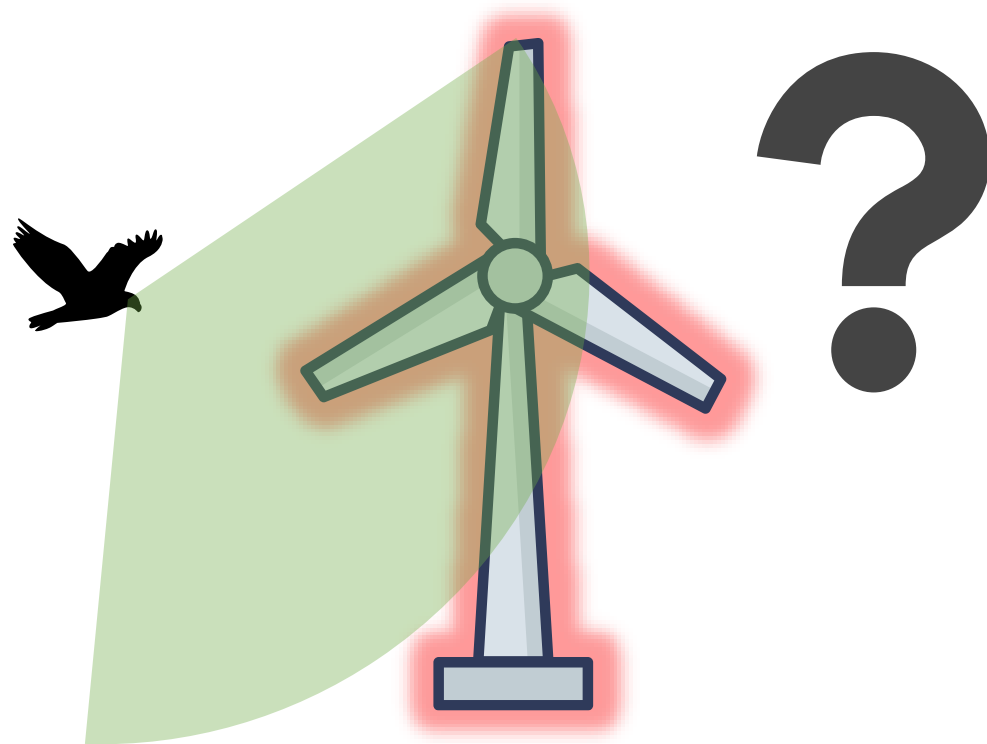
- Acuité visuelle
- Contraste
- Mouvement rotatif

Si l'oiseau ne regarde pas les éoliennes :

- Champs de vision
- Comportement

Si l'oiseau n'évite pas les éoliennes :

- Capacités motrices
- Mauvaise prise de décision





# Origine des collisions ?

Si l'oiseau ne distingue pas les éoliennes :

- Acuité visuelle
- **Contraste** 
- **Mouvement rotatif** 

Si l'oiseau ne regarde pas les éoliennes :

- Champs de vision
- Comportement

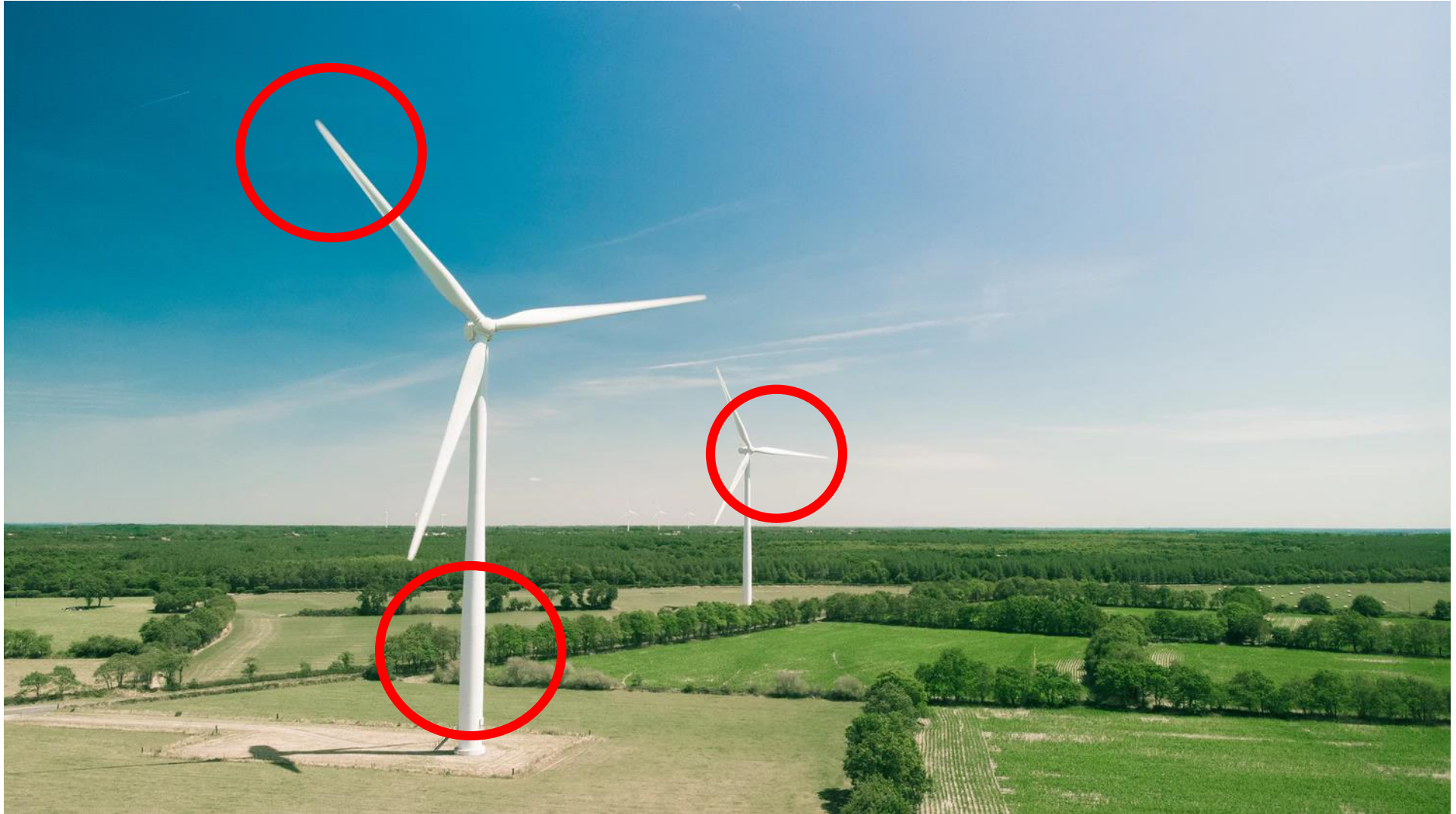
Si l'oiseau n'évite pas les éoliennes :

- Capacités motrices
- **Mauvaise prise de décision** 





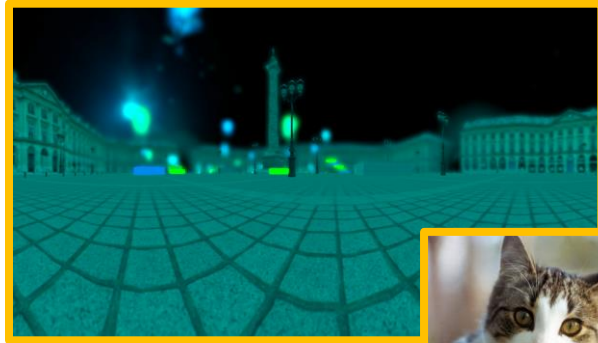
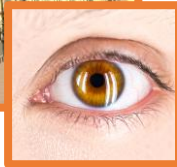
# Perception de l'environnement







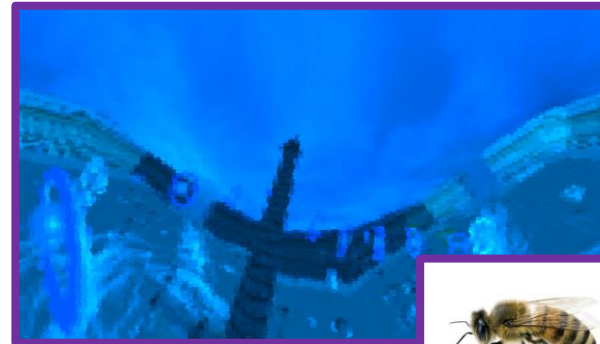
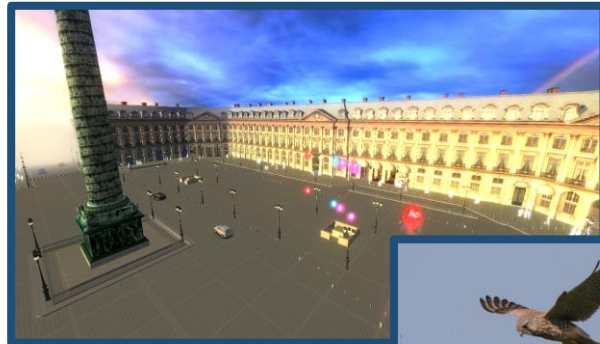
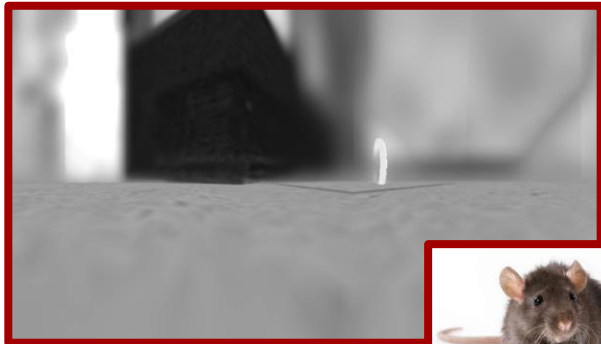
# Perception de l'environnement



## Concept d'*Umwelt*

Chaque organisme perçoit son propre environnement sensoriel

*Von Uexküll & Sebeok (1909)*  
*Van Dyck (2012)*

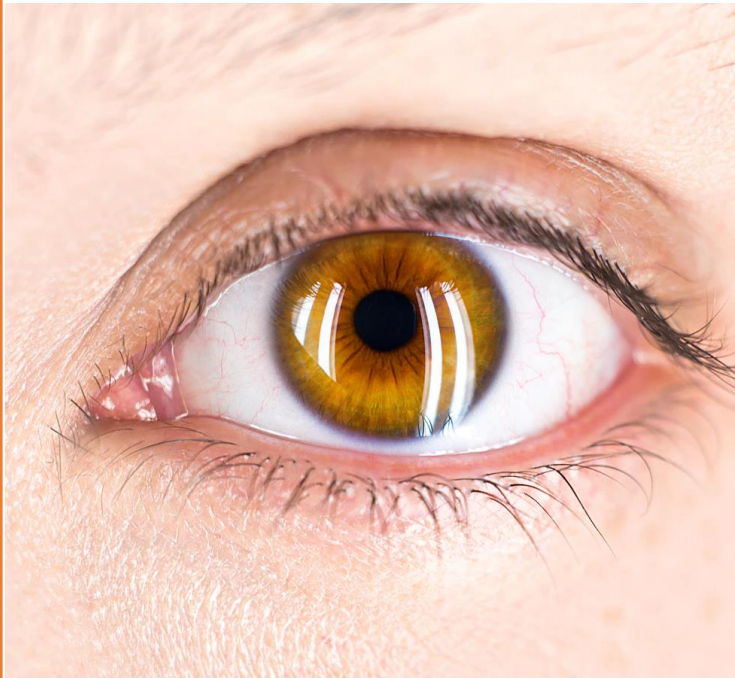


« Le monde sensoriel du faucon est aussi différent du nôtre que celui d'une chauve-souris ou d'un bourdon [...]. Son monde est environ dix fois plus rapide que le nôtre ». *Helen Macdonald (2006)*



Variabilité de la vision : « many birds, many view » *The sensory ecology of birds*

Homme



*Homo sapiens*

Buse de Harris



*Parabuteo unicinctus*

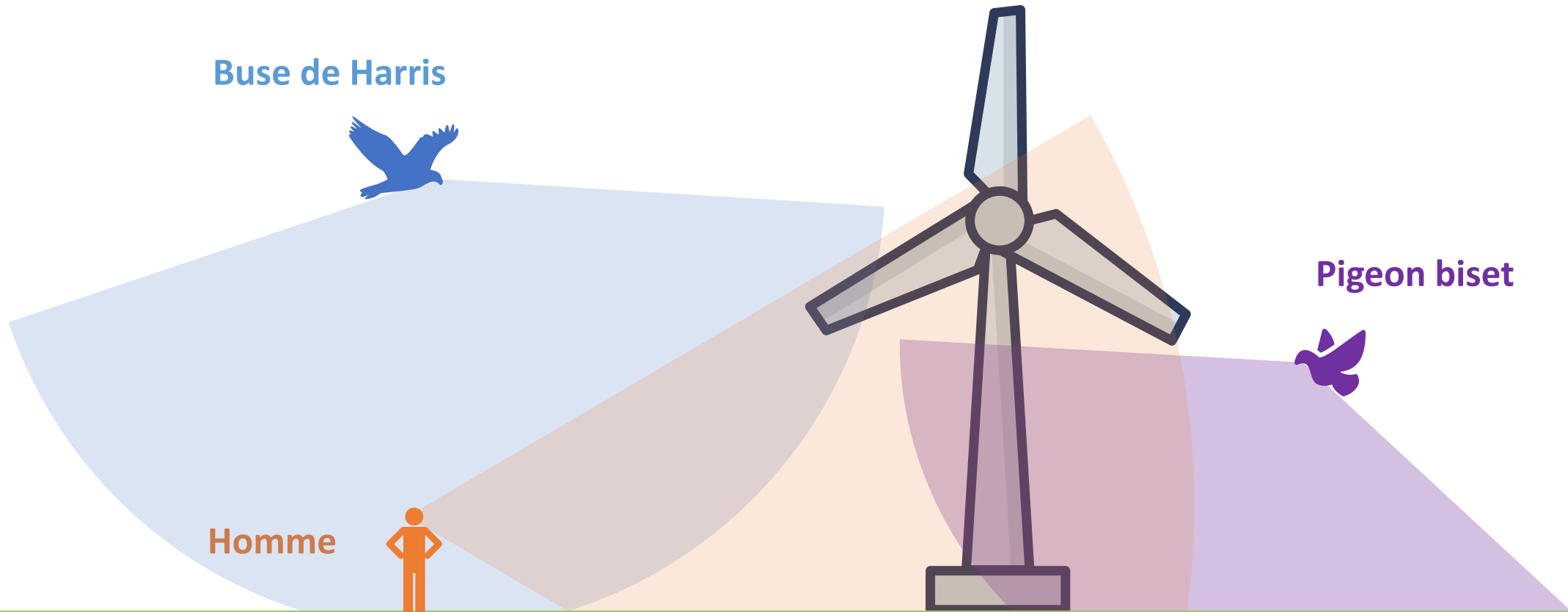
Pigeon biset



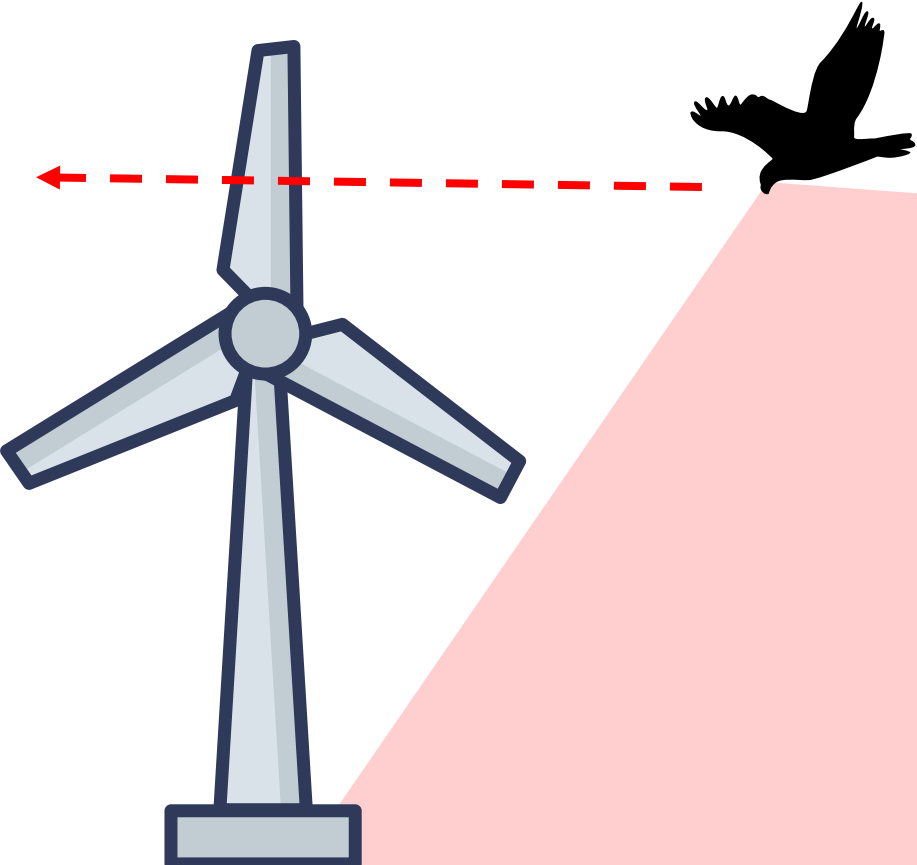
*Columba livia*

Connaissances variables

# Champ de vision



# Champ de vision





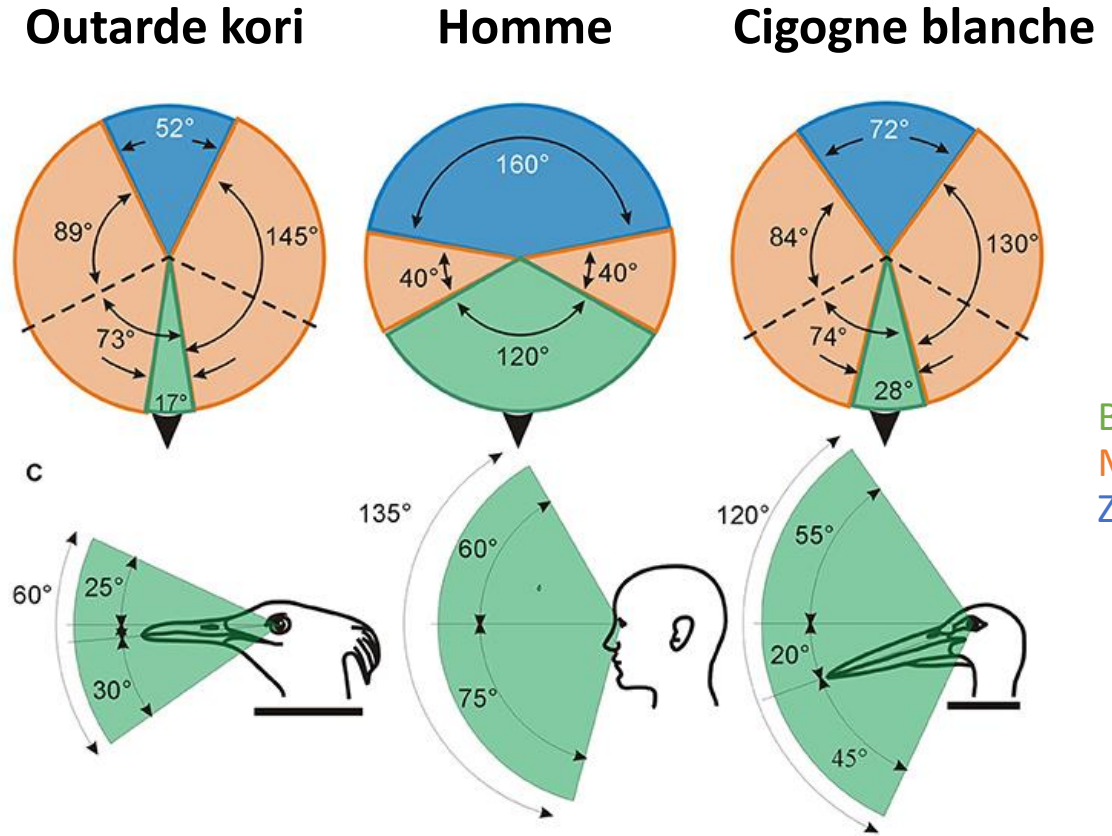
# Champ de vision

Dépend de :

- la forme des yeux
- la place des yeux
- la forme et la taille de la tête (bec)

Oiseaux :  
 > 70 articles  
 > 60 espèces

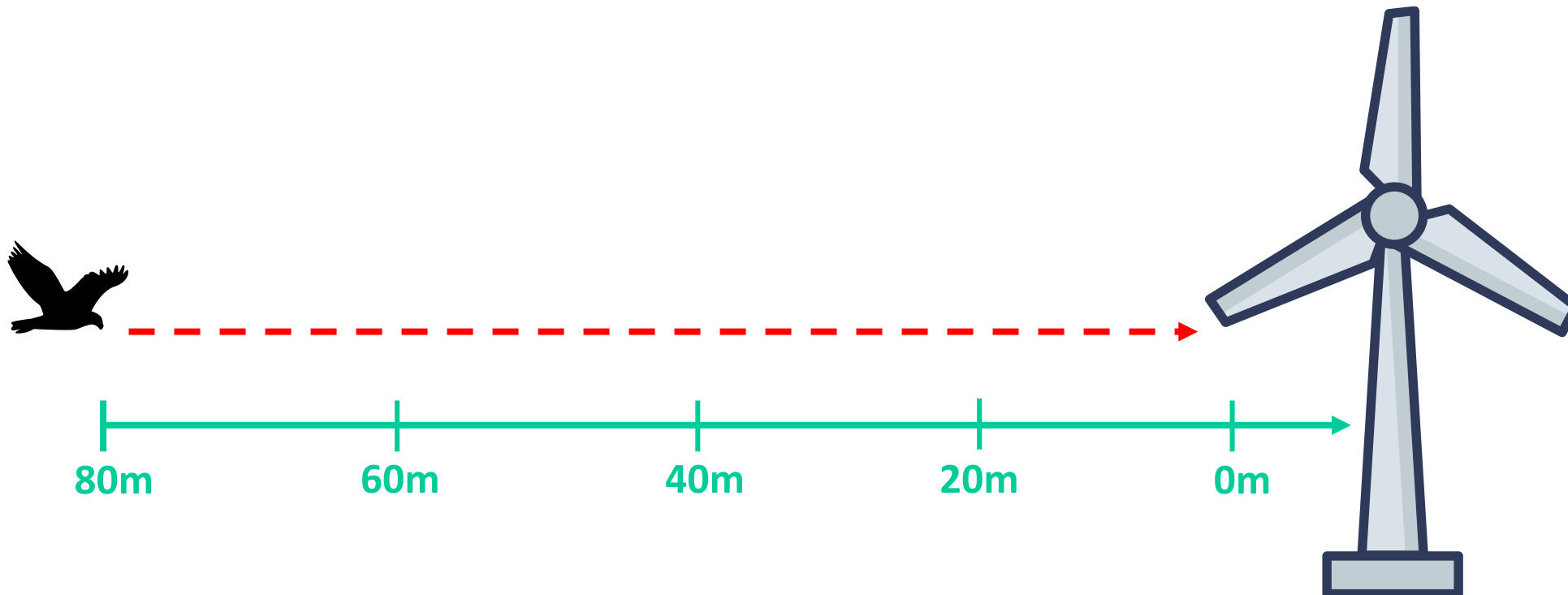
Etude de grande envergure en cours



Binoculaire  
 Monoculaire  
 Zone aveugle

Martin (2017)

Capacité à distinguer un petit objet de loin

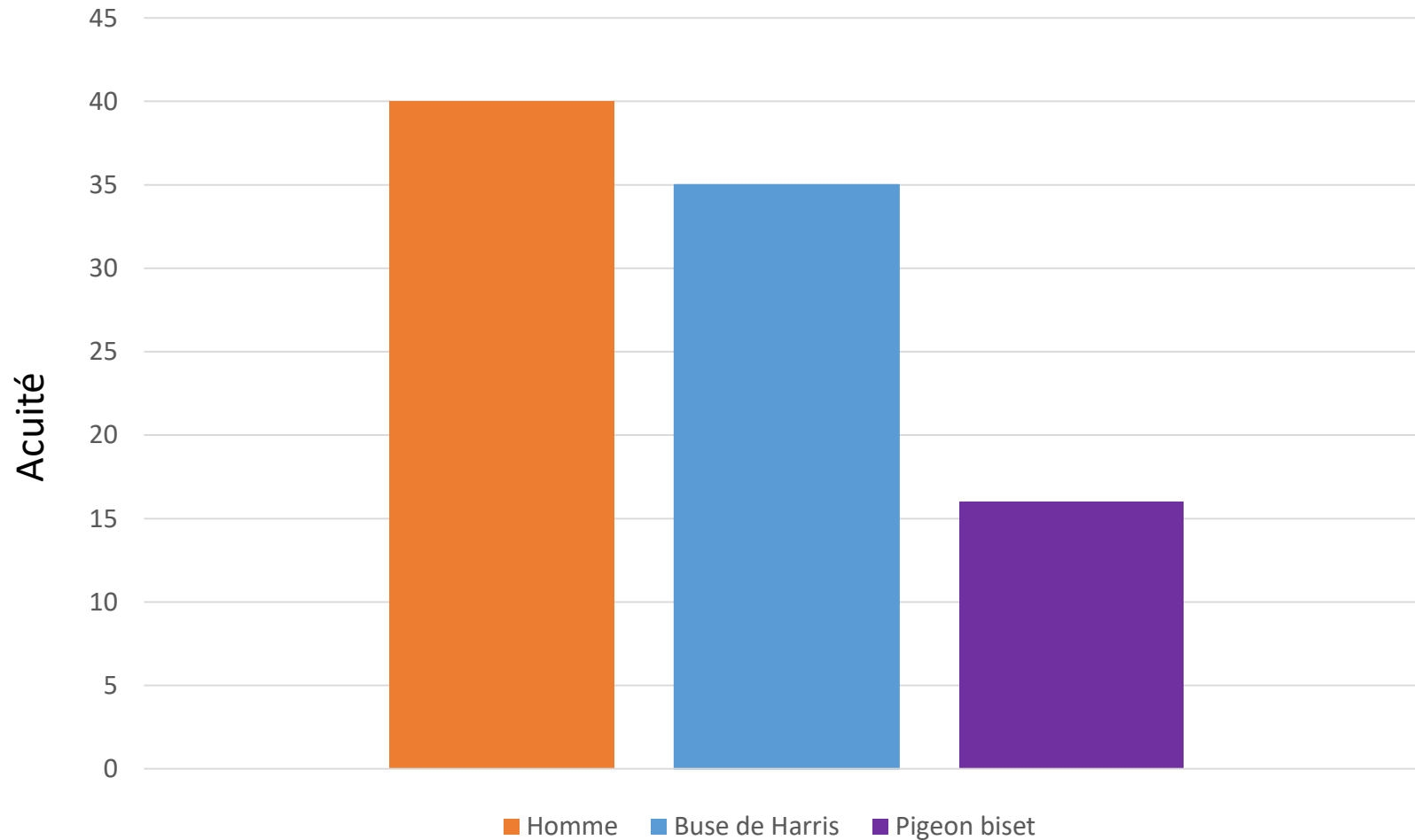


# Acuité visuelle

Capacité à distinguer un petit objet de loin



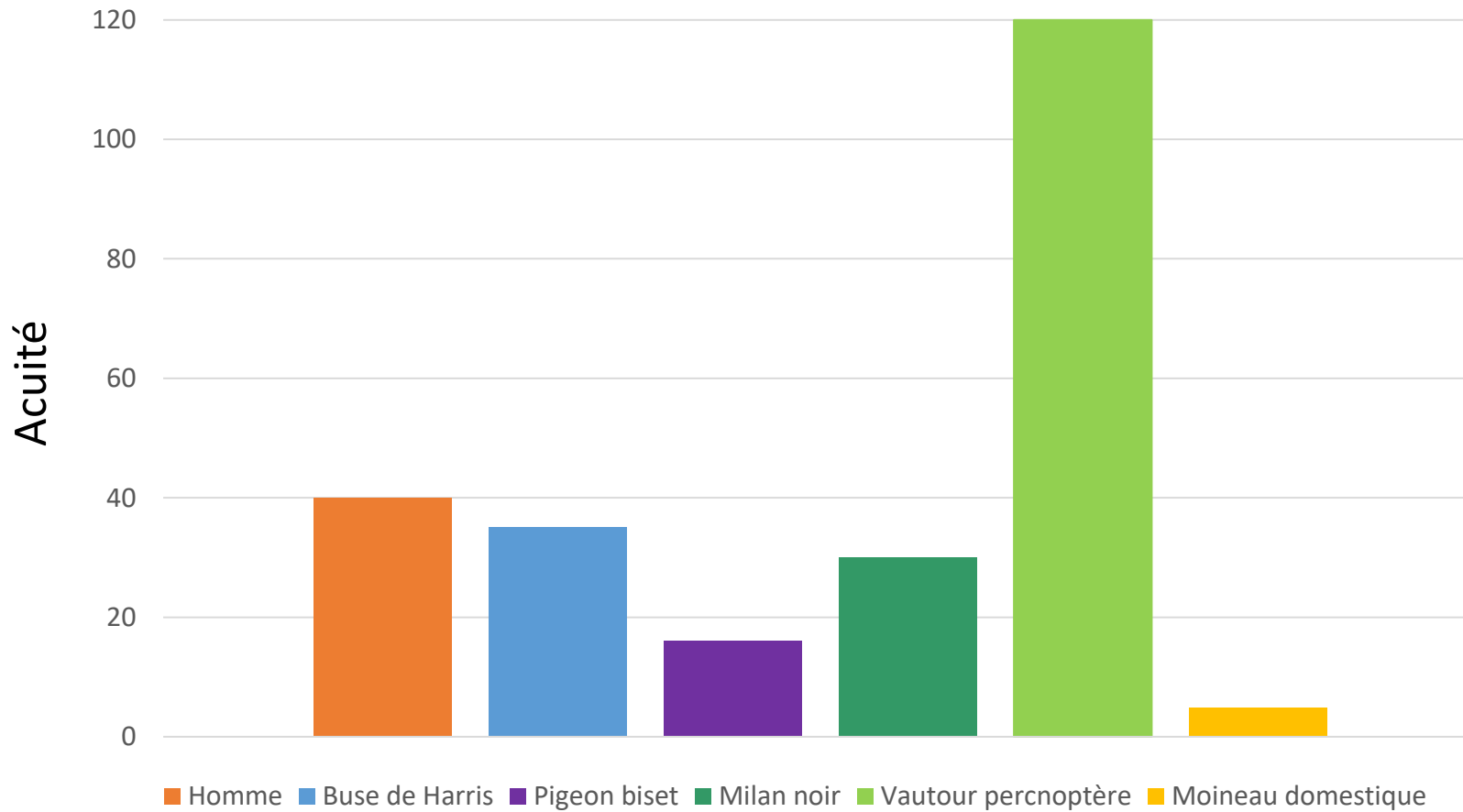
Capacité à distinguer un petit objet de loin



*Potier et al. (2016)*  
*Hodos et al. (1991)*

# Acuité visuelle

Capacité à distinguer un petit objet de loin



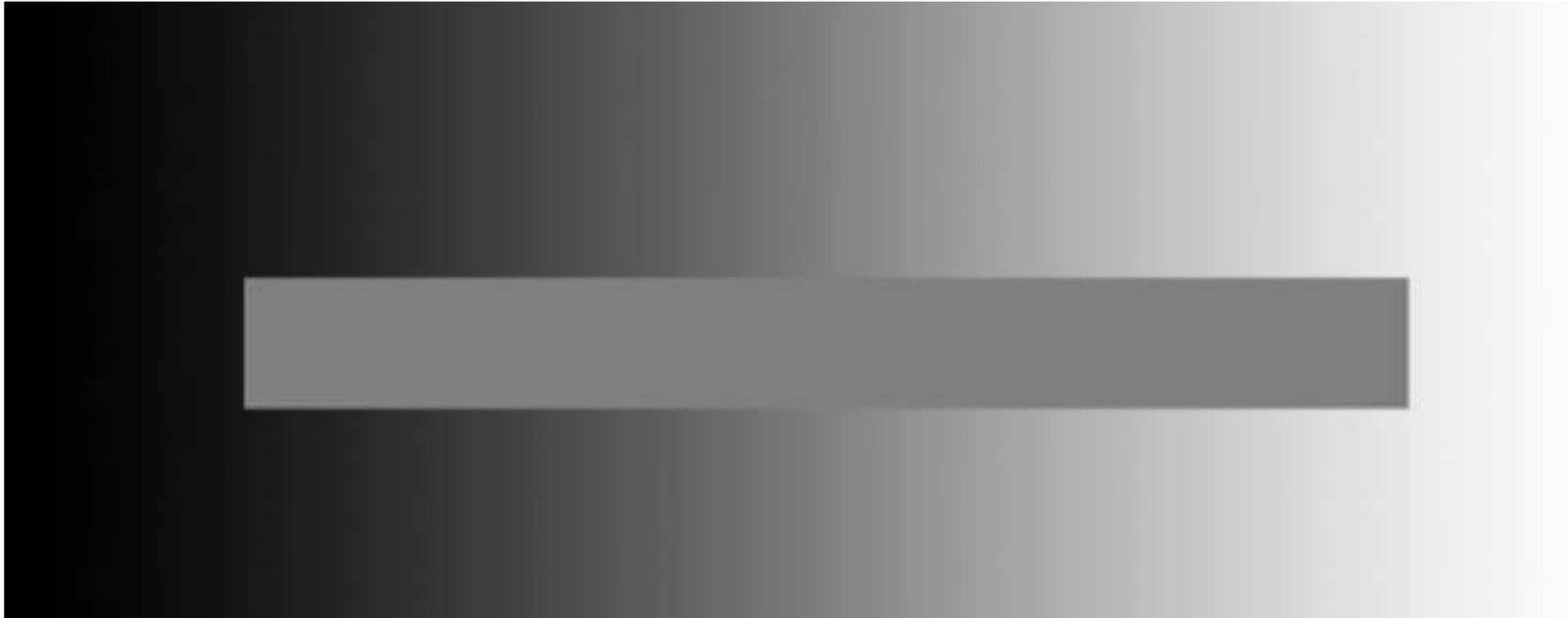
Oiseaux :  
 > 60 articles  
 > 50 espèces

*Potier et al. (2016)*  
*Hodos et al. (1991)*  
*Potier et al. (2016)*  
*Fisher (1968)*  
*Dolan & Fernandez-Juricic (2010)*

# Contraste

Capacité à percevoir la différence de luminosité réfléchiée par deux objets

Oiseaux :  
~ 25 articles  
~ 11 espèces



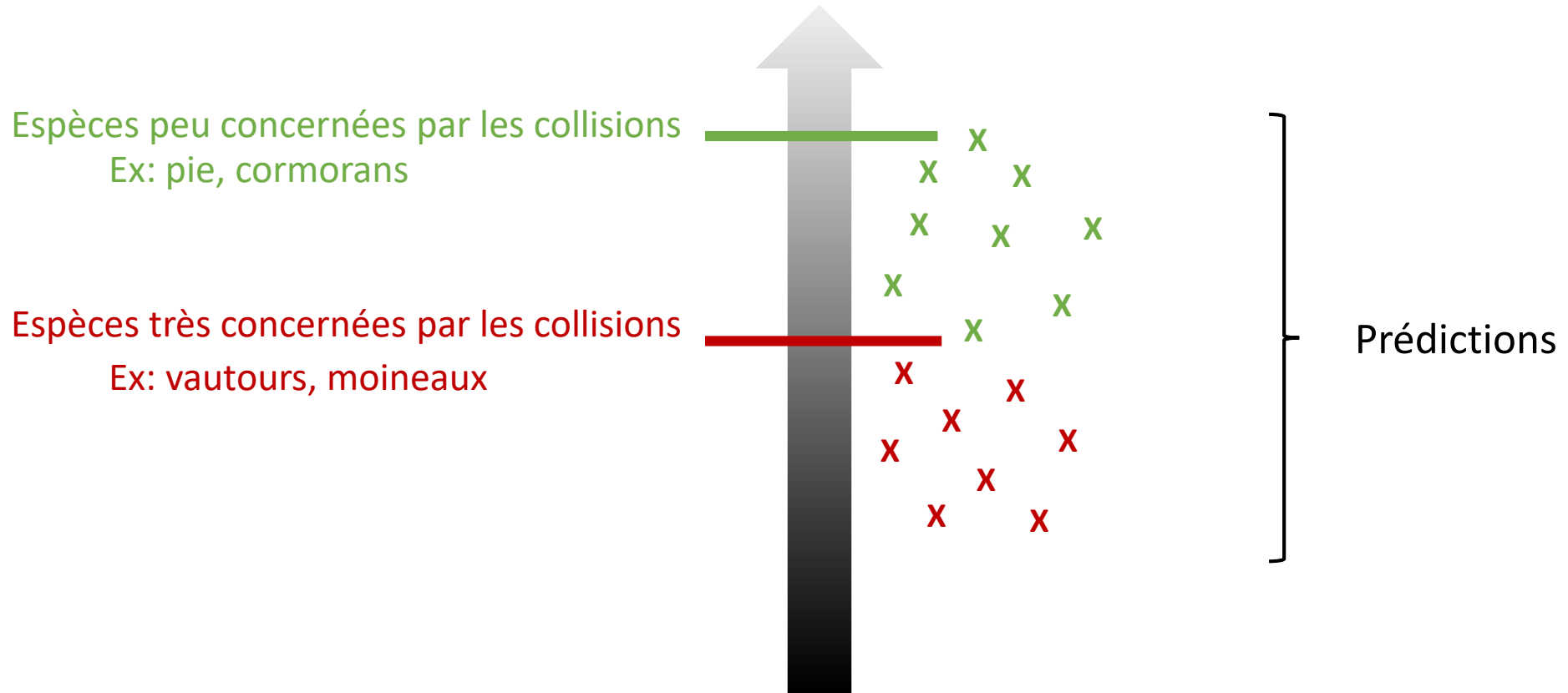
# Contraste

Capacité à percevoir la différence de luminosité réfléchi par deux objet



# Contraste

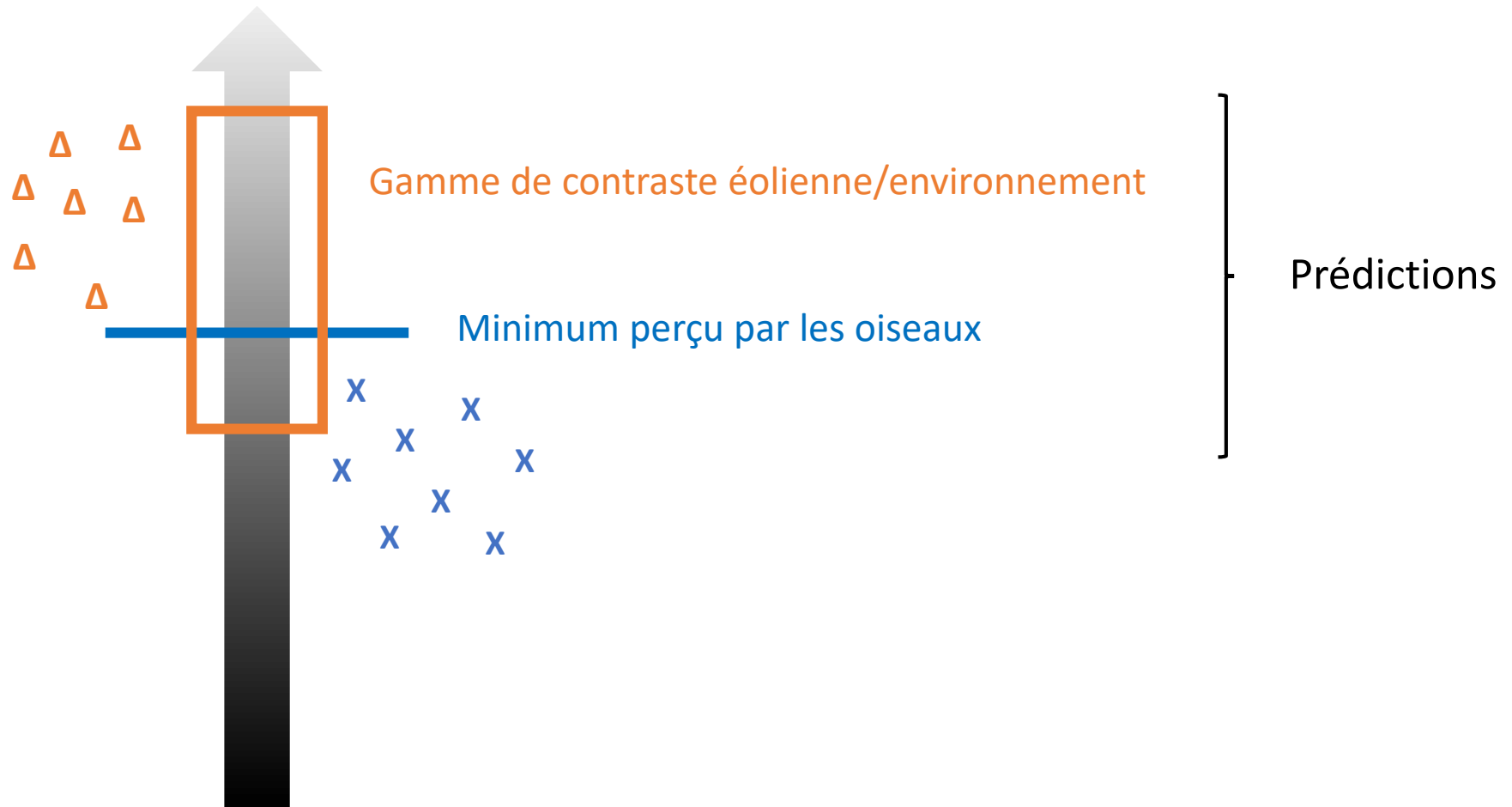
Comment savoir si la mauvaise vision du contraste est un facteur responsable des collisions ?





# Contraste

Comment savoir si la mauvaise vision du contraste est un facteur responsable des collisions ?



# Contraste

Capacité à percevoir la différence de luminosité réfléchi par deux objet



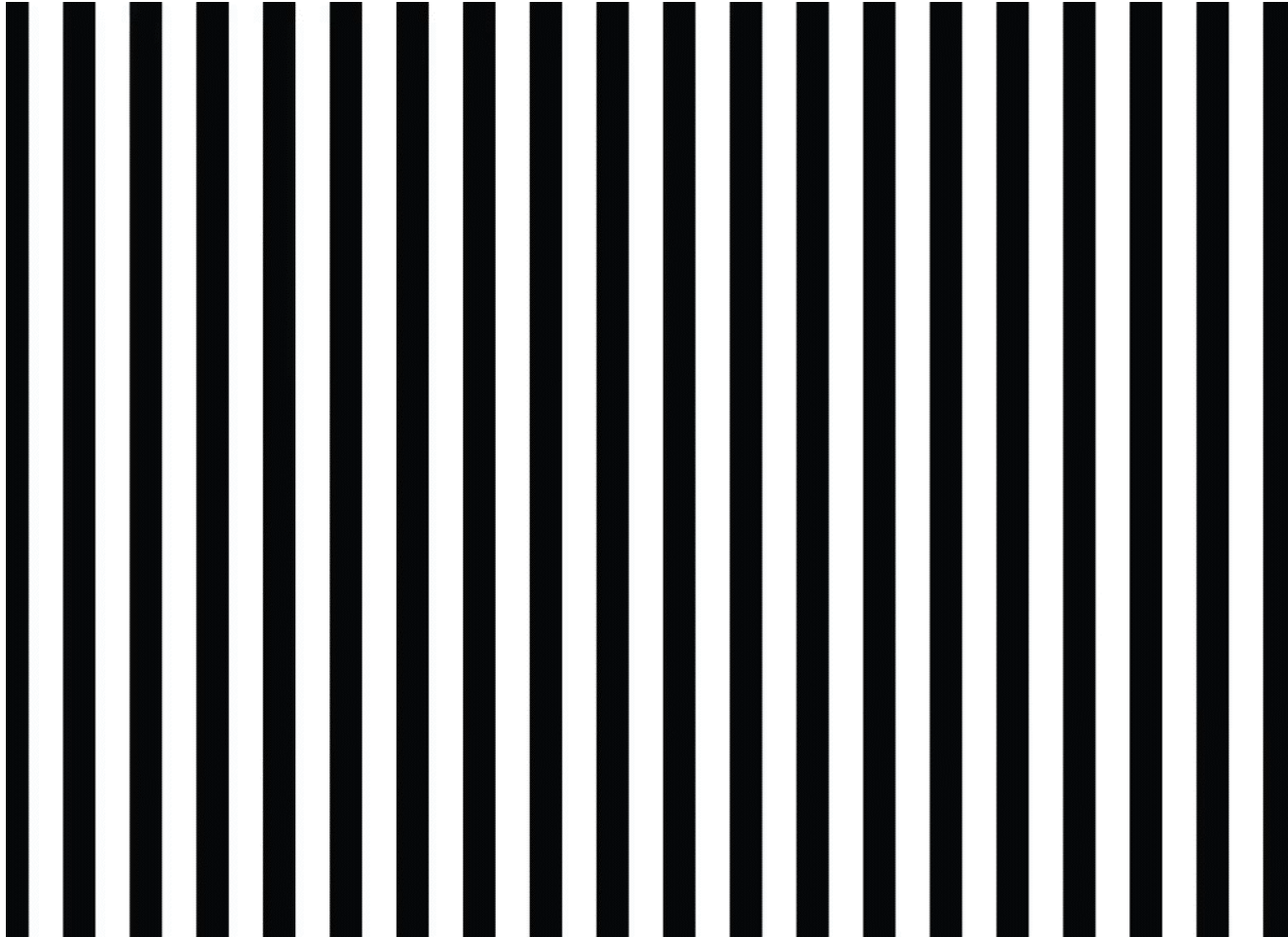


# Contraste

Capacité à percevoir la différence de luminosité réfléchi par deux objet



## Le réflexe optomoteur (OKR)



Oiseaux :

~ 8 articles

~ 8 espèces

- Contraste
- Fréquence spatiale (largeur des bandes)
- Vitesse angulaire (vitesse de défilement)

# Contraste

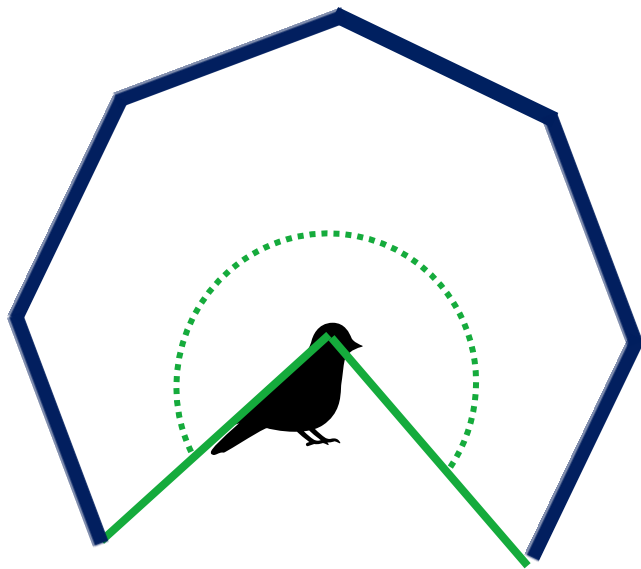


# Contraste

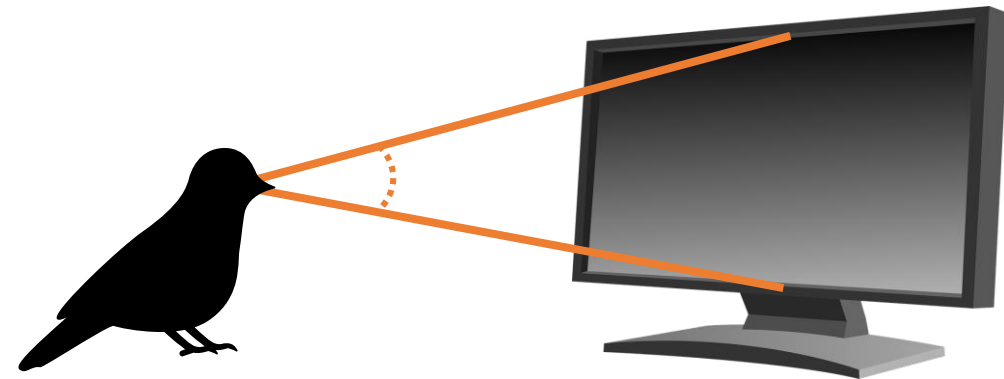


# Contraste

Couvrir un large champ de vision



Largeur & Hauteur



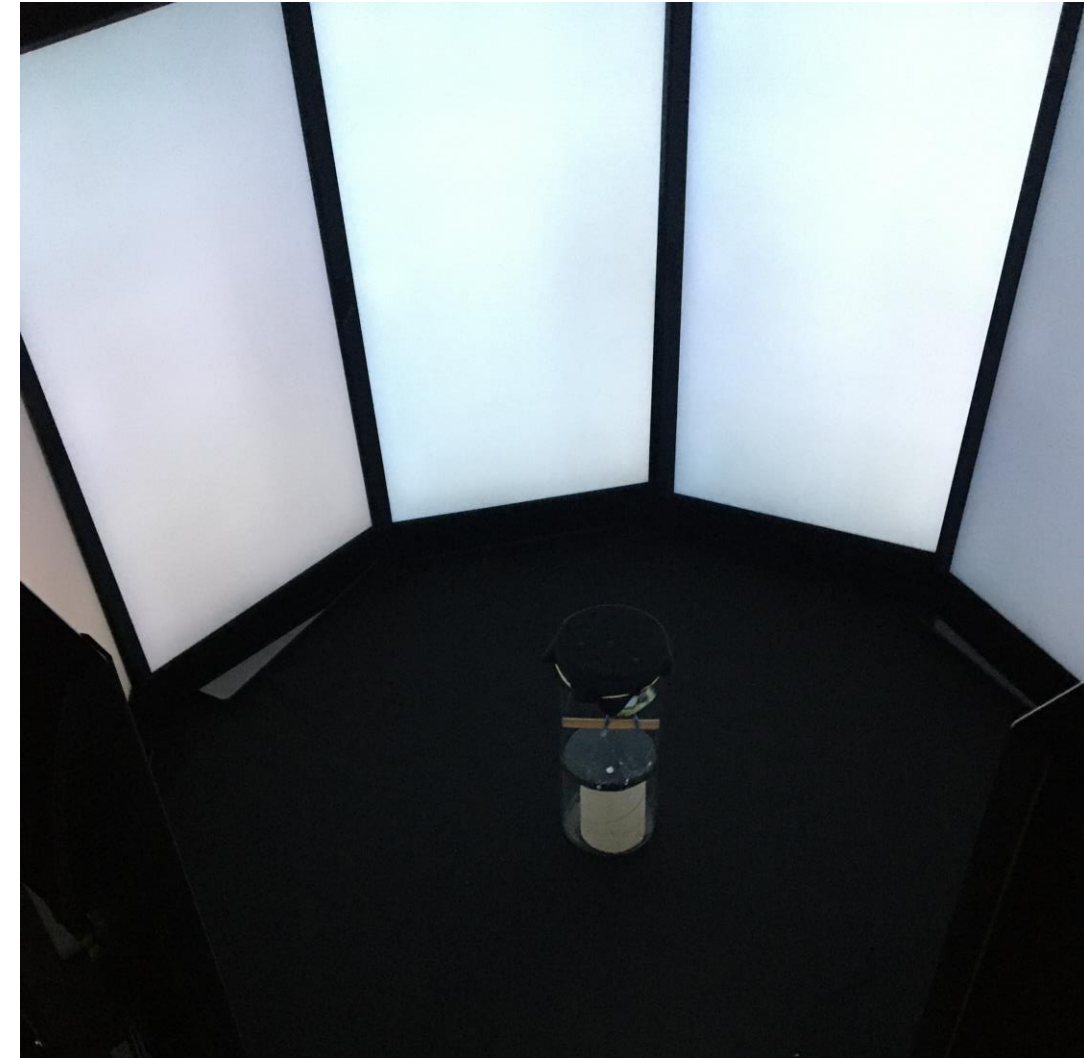
Environnement neutre



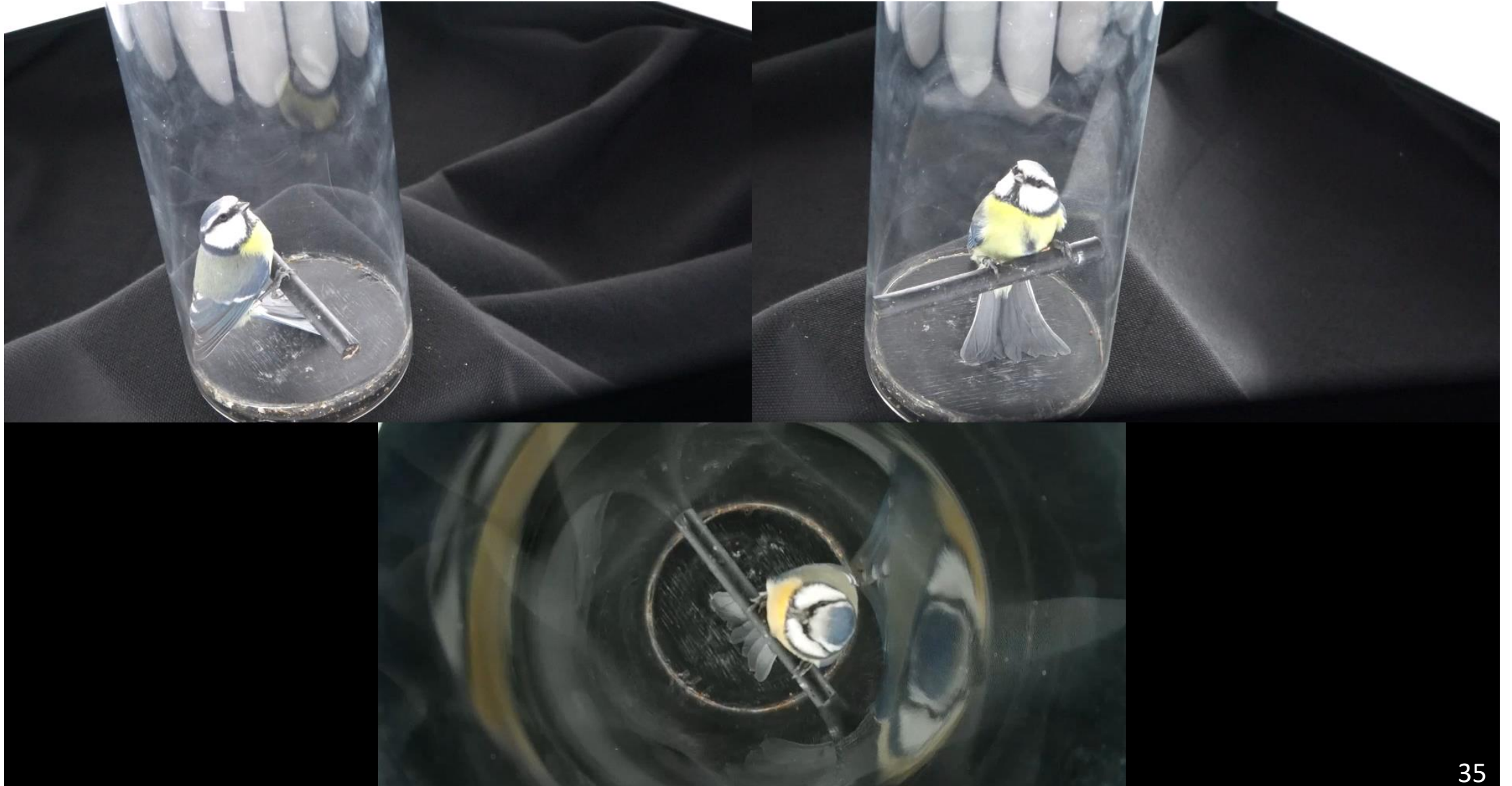
# Contraste





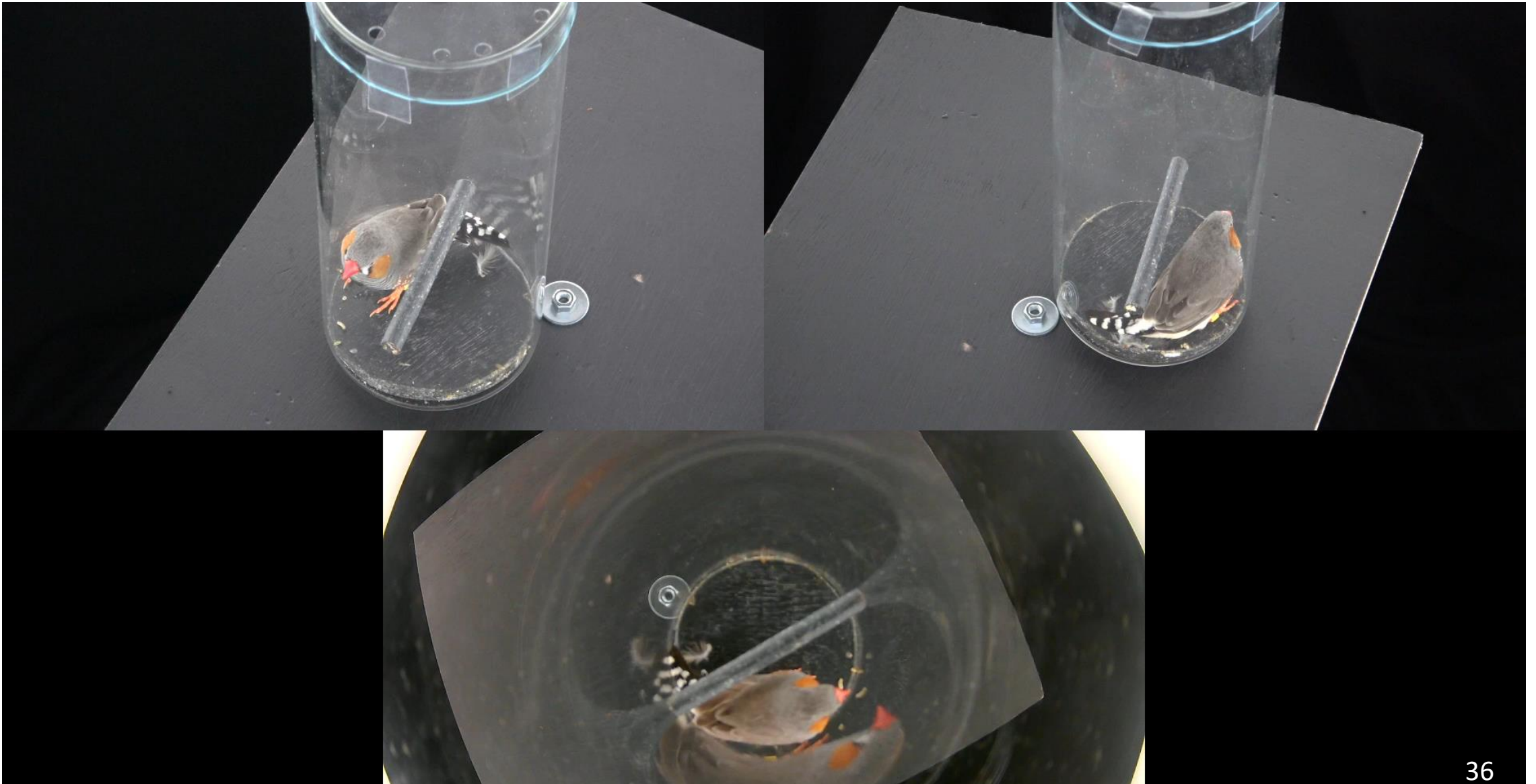


# Contraste



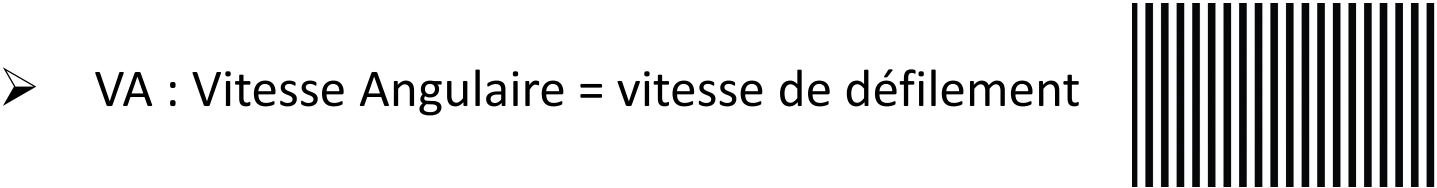


# Contraste



# Contraste

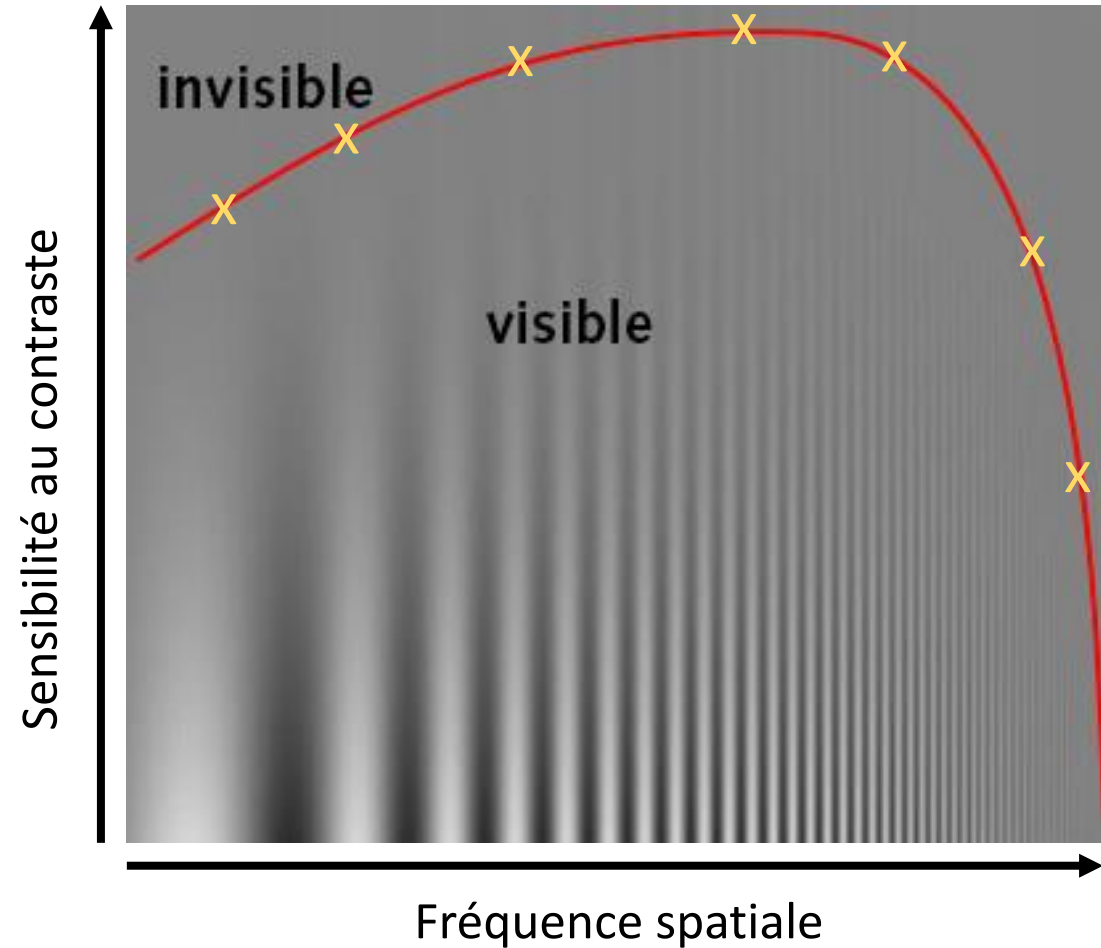
Etude à l'aide du réflexe optocinétique (OKR) : prise en compte de ces trois composantes



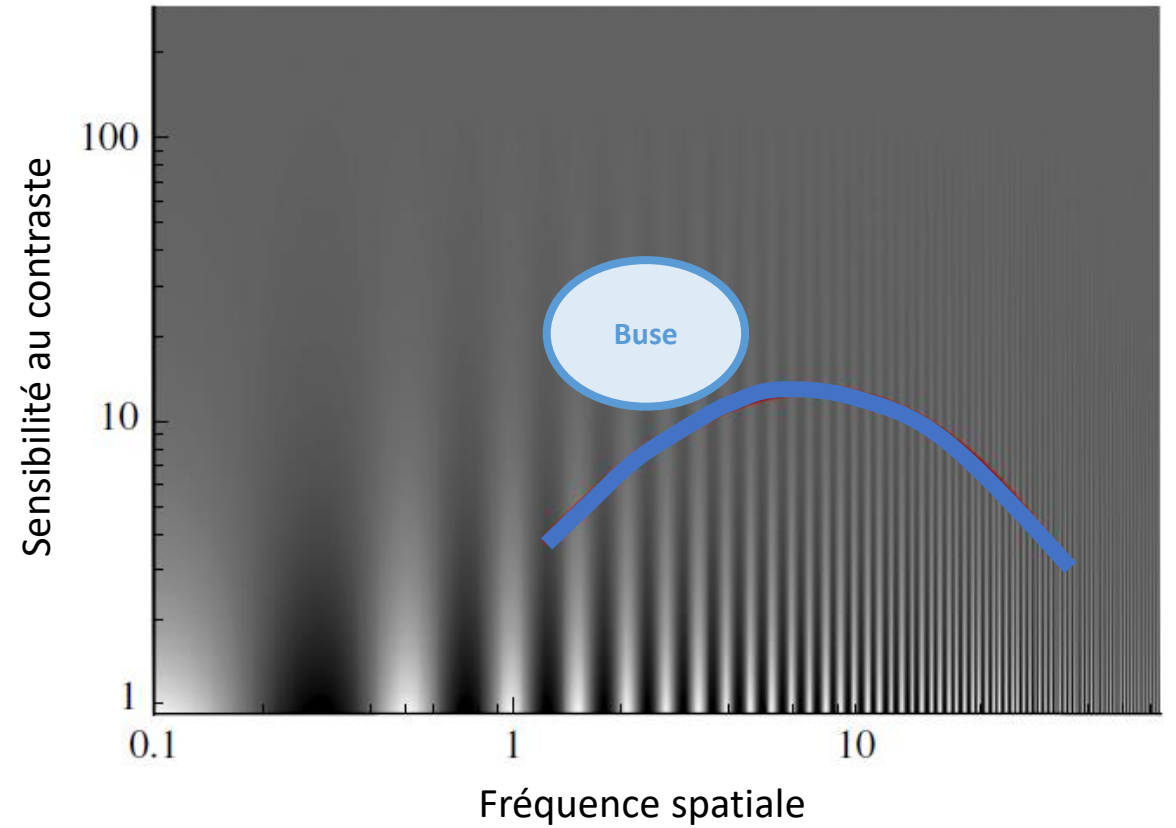
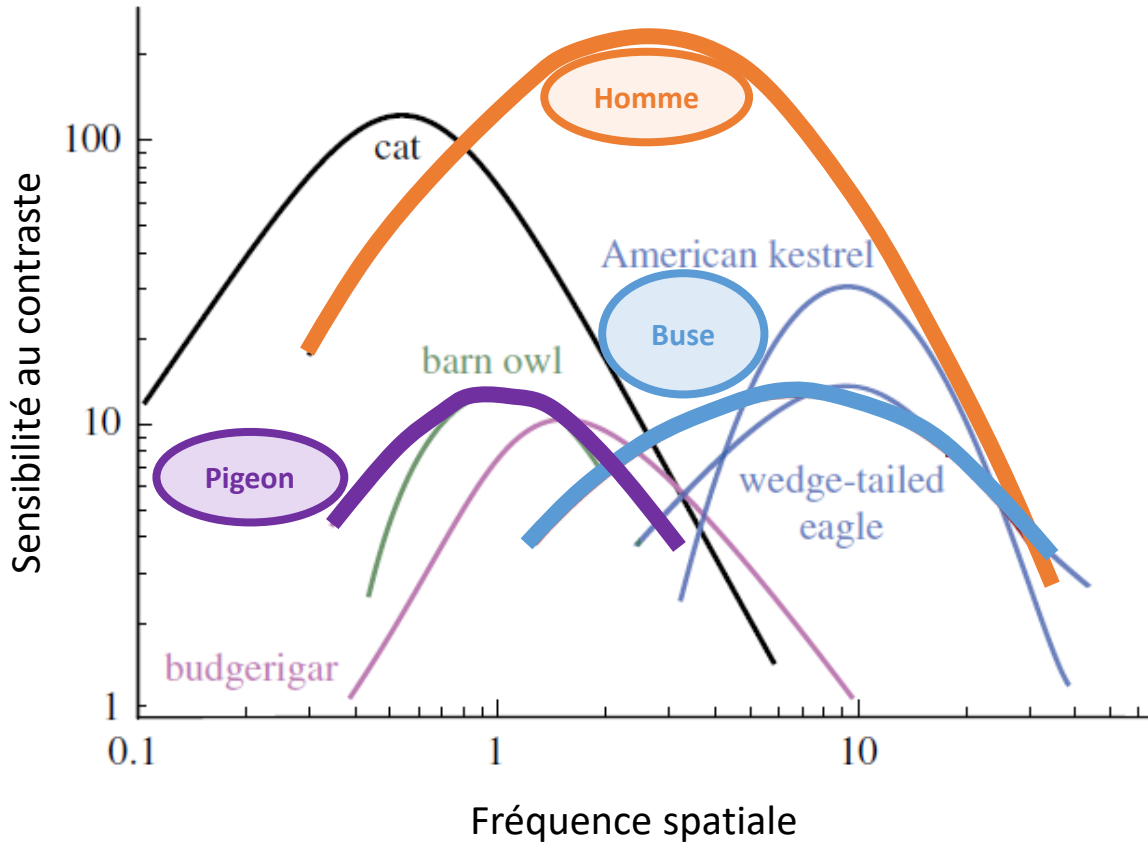
# Contraste

- 1 vitesse angulaire donnée
- 6-7 fréquences spatiales
- $1/(\text{contraste minimum perçu})$

→ Fonction de sensibilité au contraste



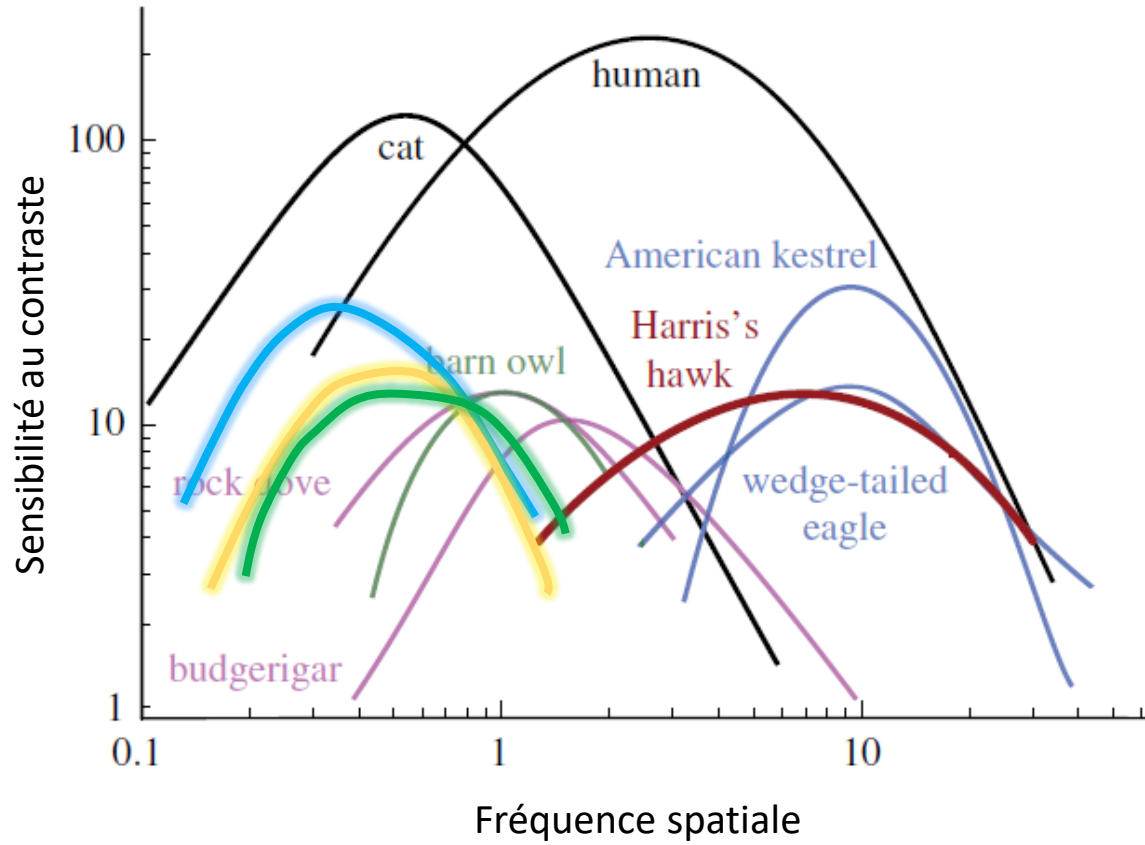
# Contraste



*Potier et al. (2018)*

# Contraste

Mésanges bleues



Diamants mandarins

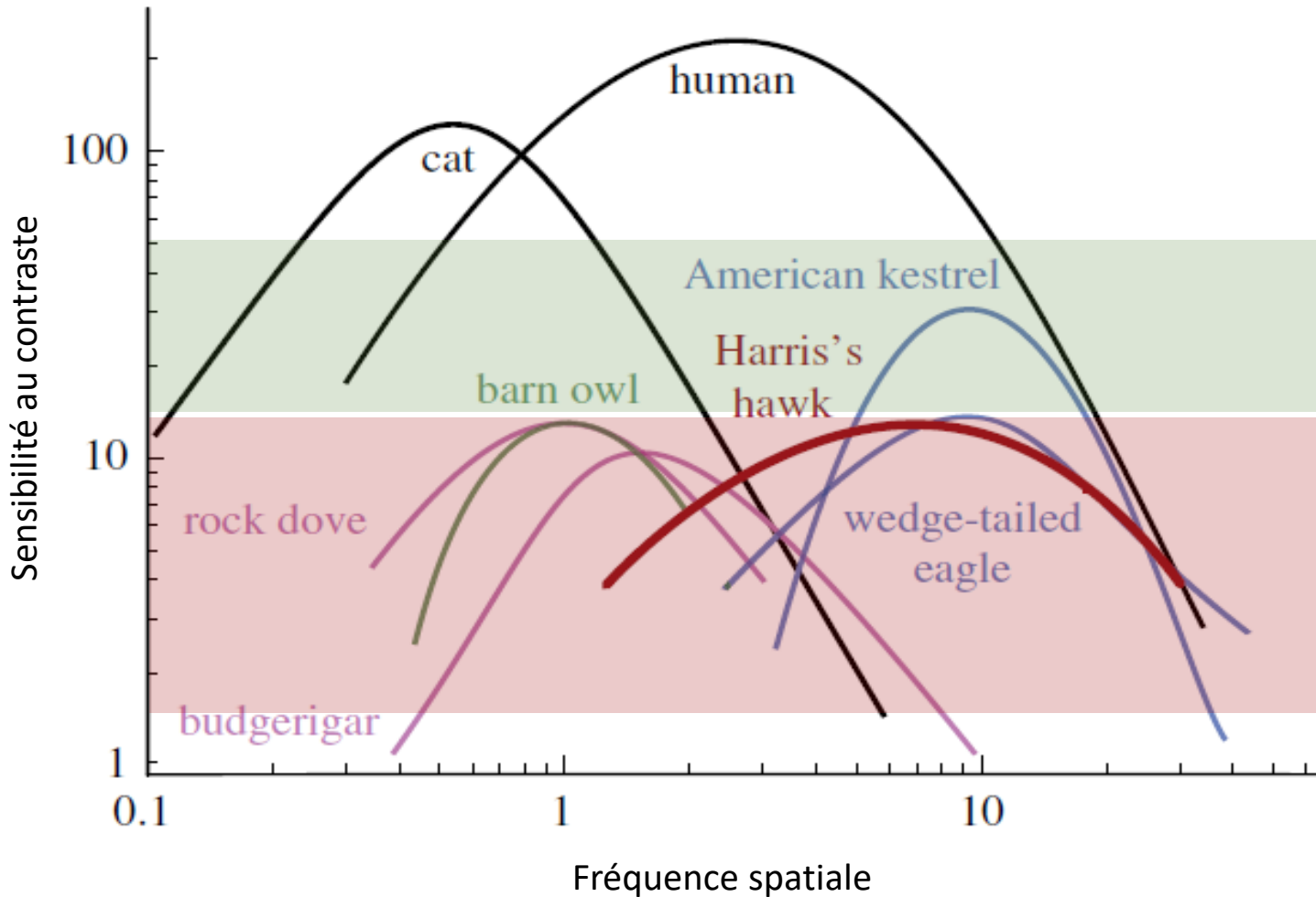


Moineaux domestiques



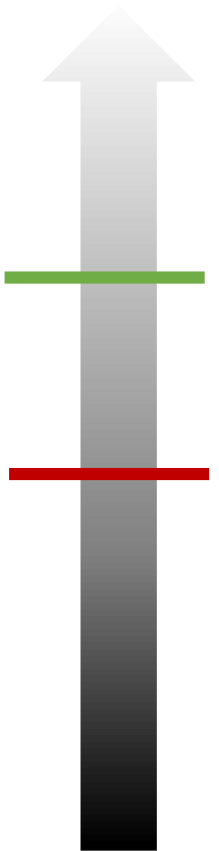
# Contraste

## Prédictions



? Espèces peu concernées par les collisions ?

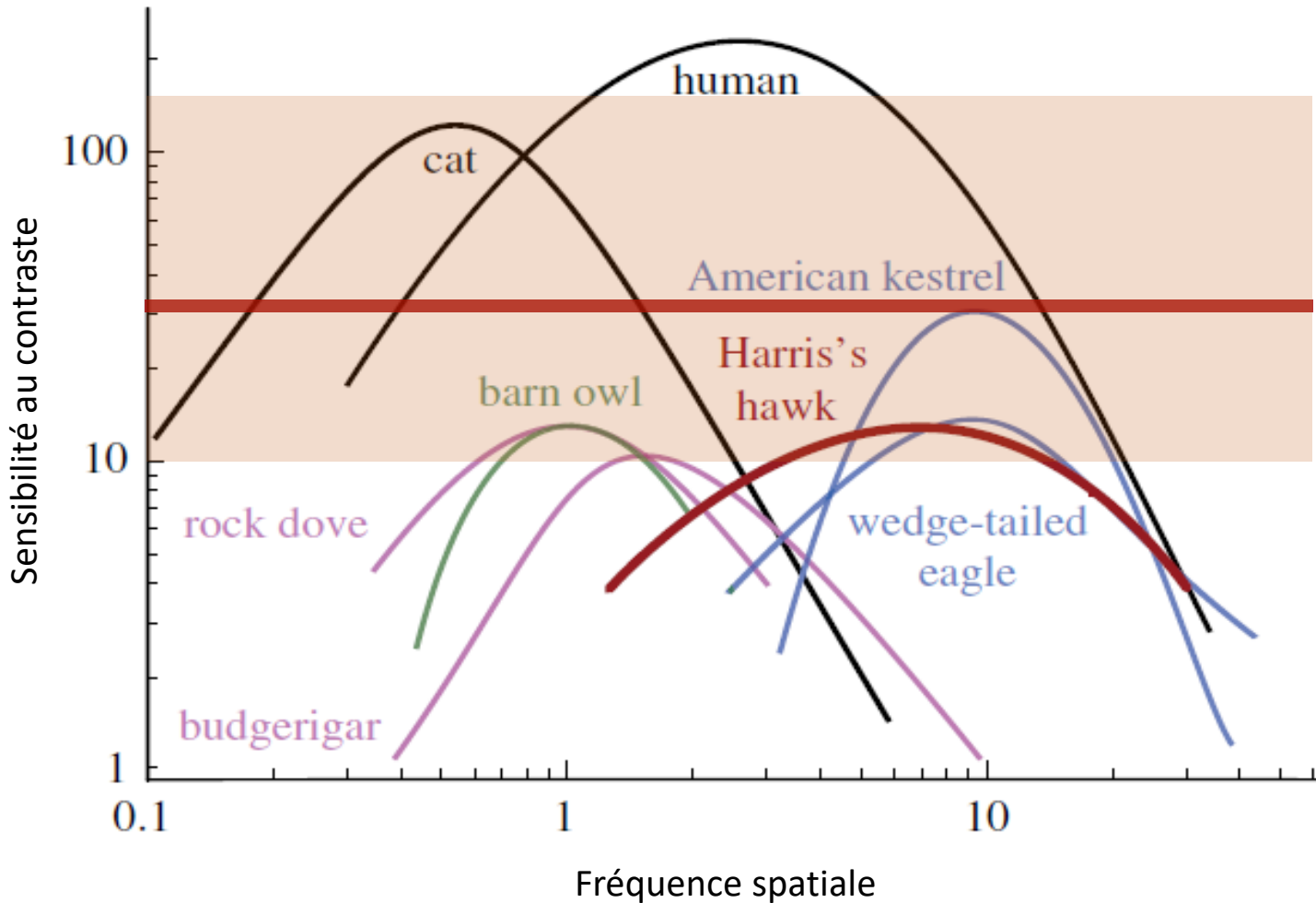
? Espèces très concernées par les collisions ?



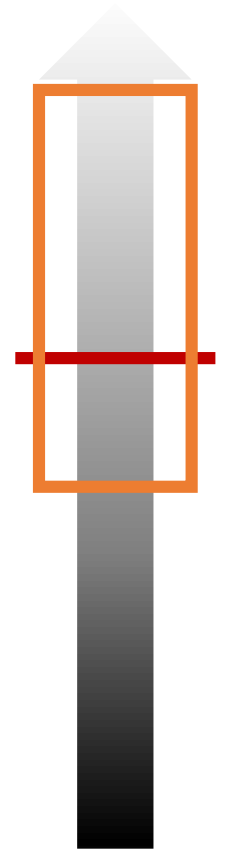


# Contraste

## Prédictions



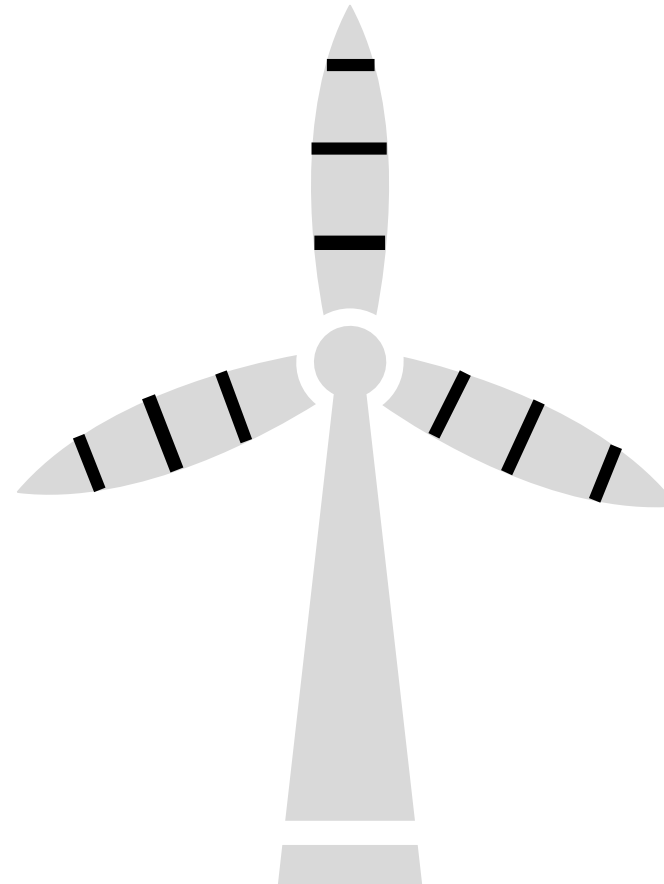
? Contraste éolienne/environnement ?  
 ? Seuil maximum perçu par les oiseaux ?



La pale noire ?

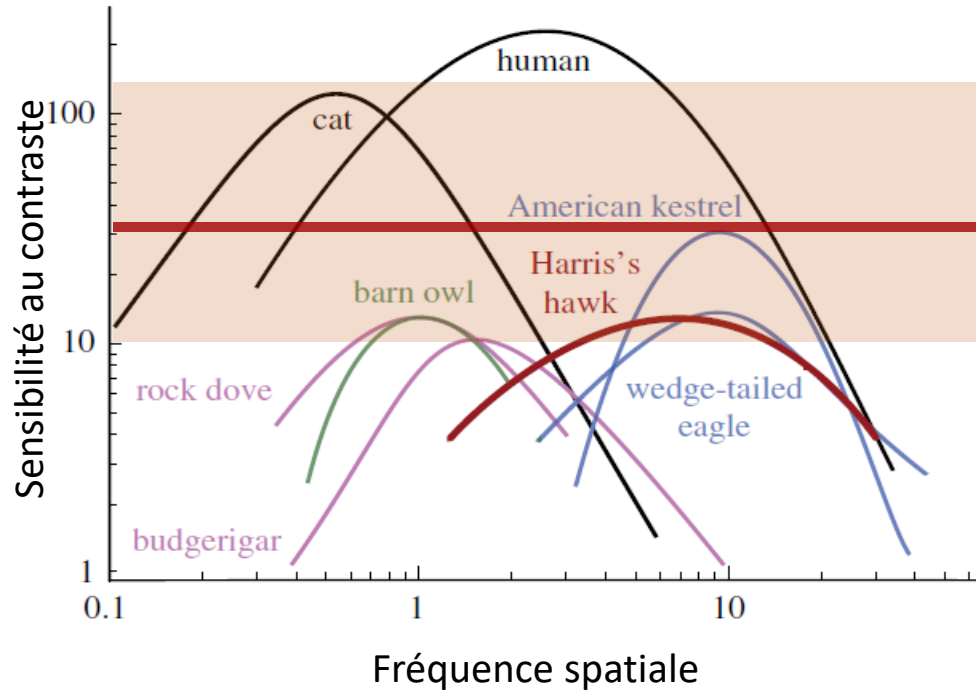


*May et al. (2020)*



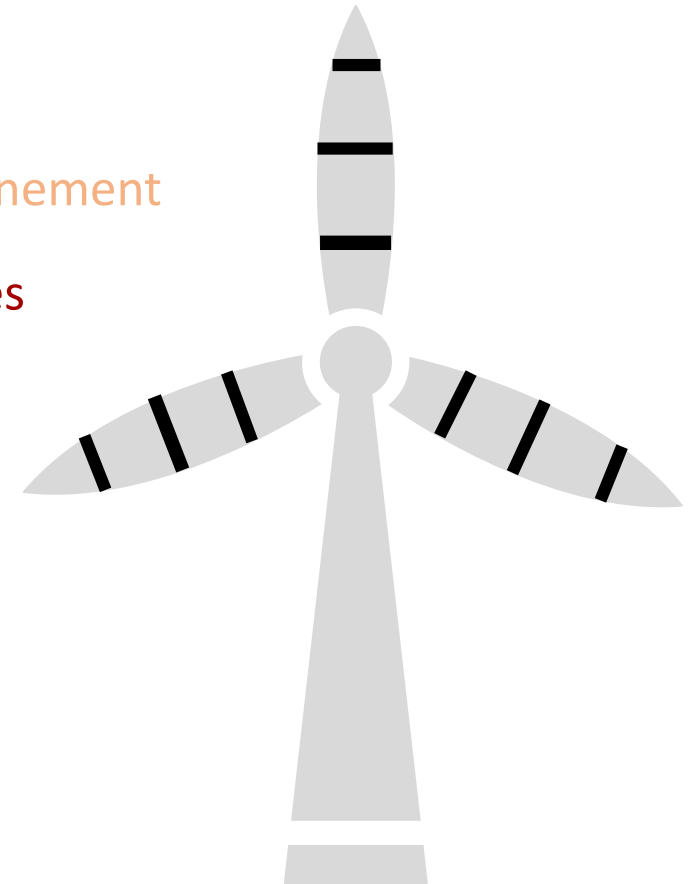
# Contraste

La pale noire ?



Contraste éolienne/environnement

Seuil maximum perçu par les oiseaux



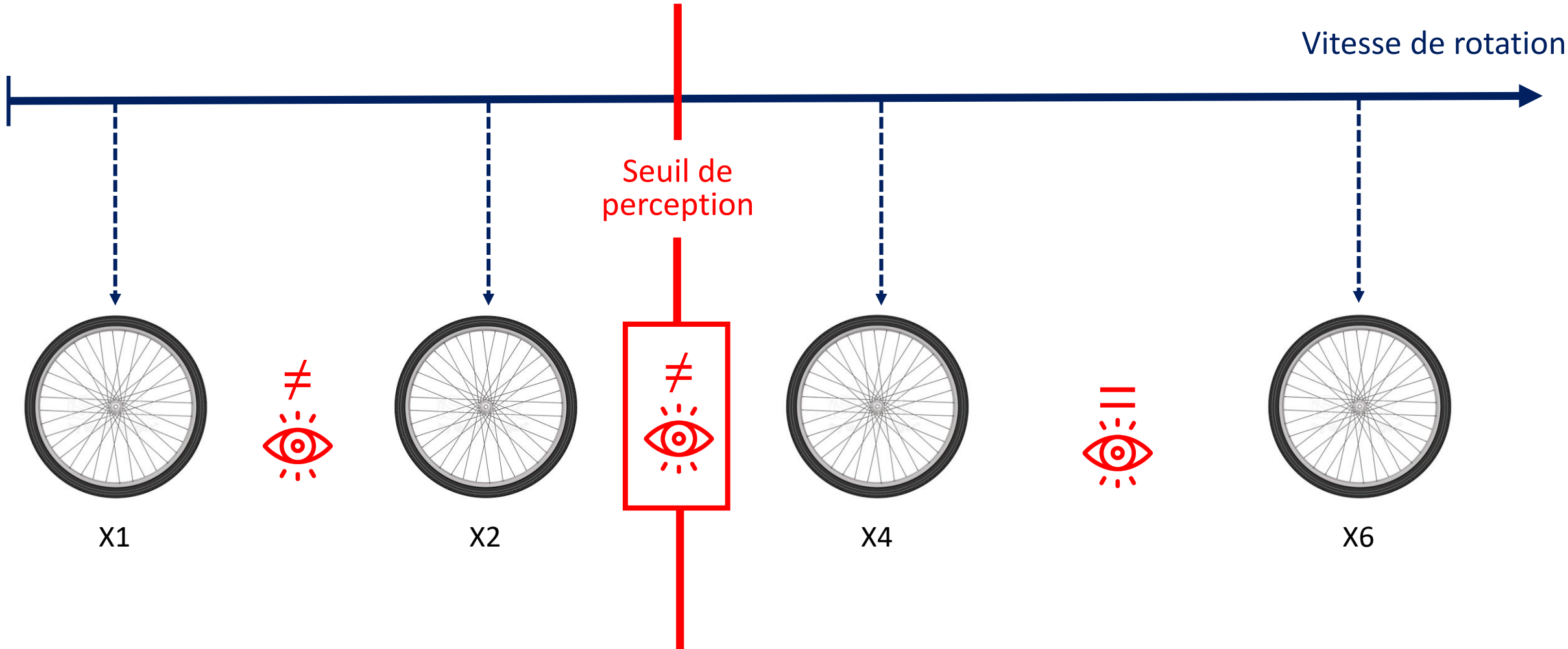
Perception du mouvement rotatif :

- Mouvement rotatoire
- Vitesse de rotation



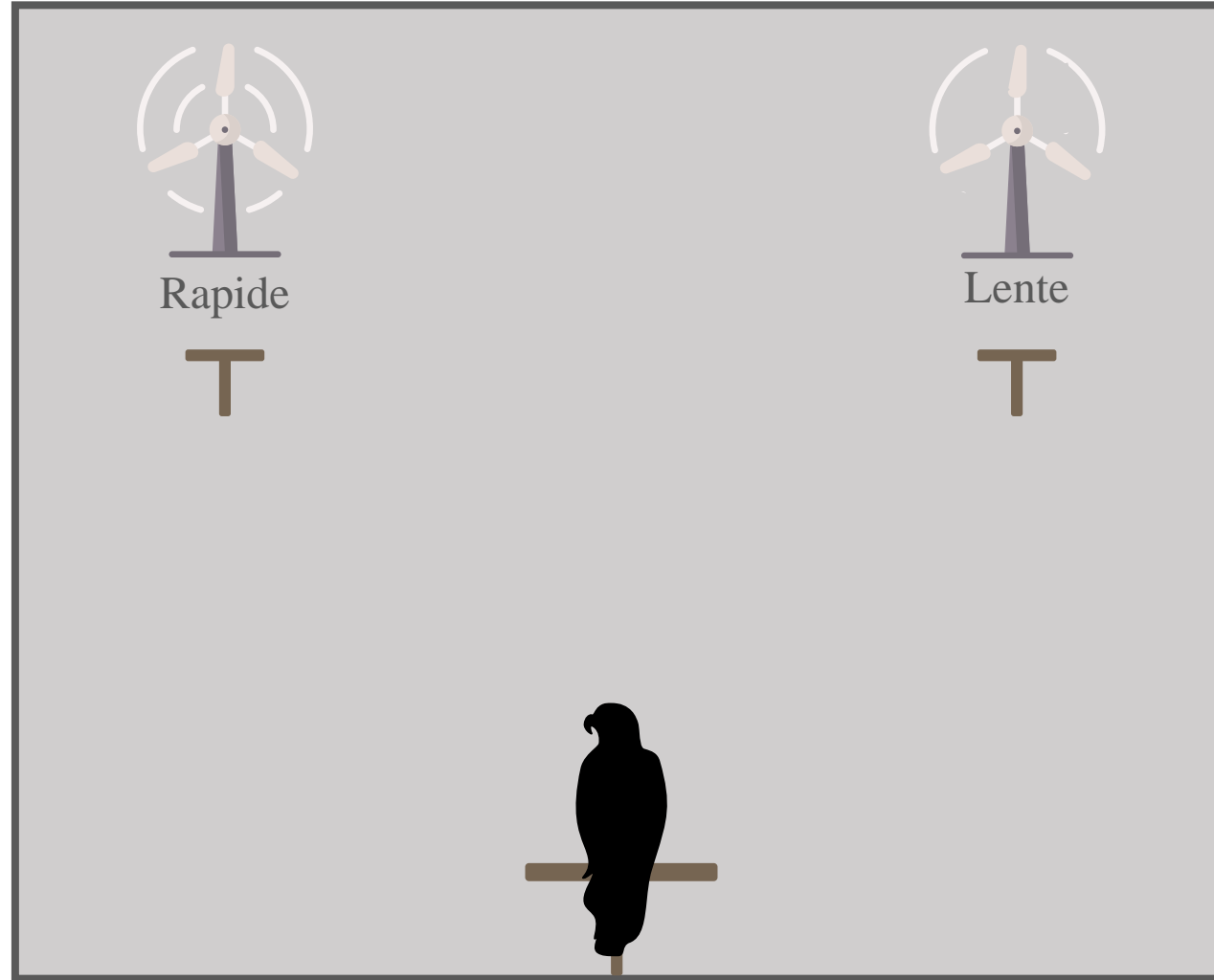
# Mouvement rotatif

Perception du mouvement rotatif :



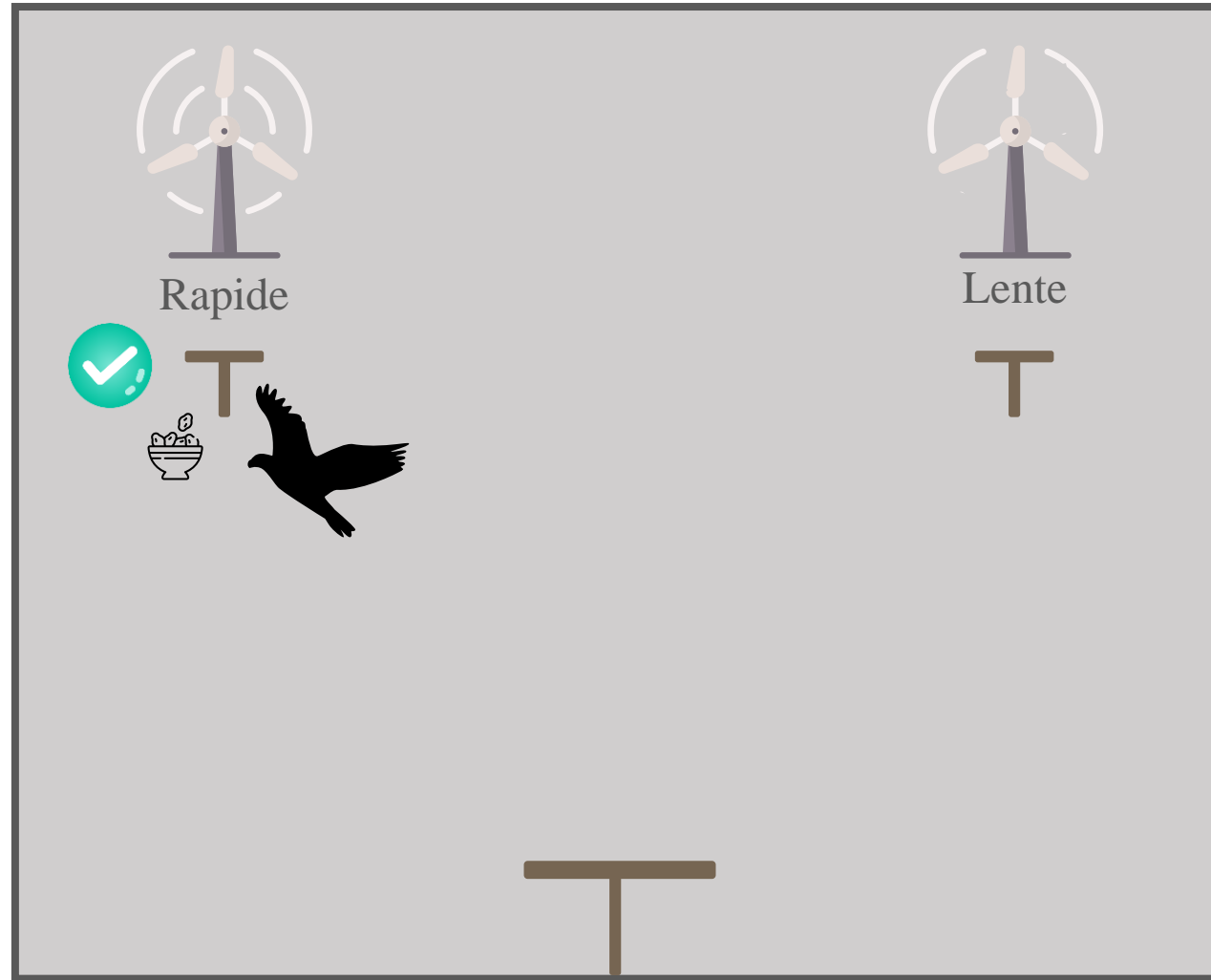
# Mouvement rotatif

Conditionnement opérant



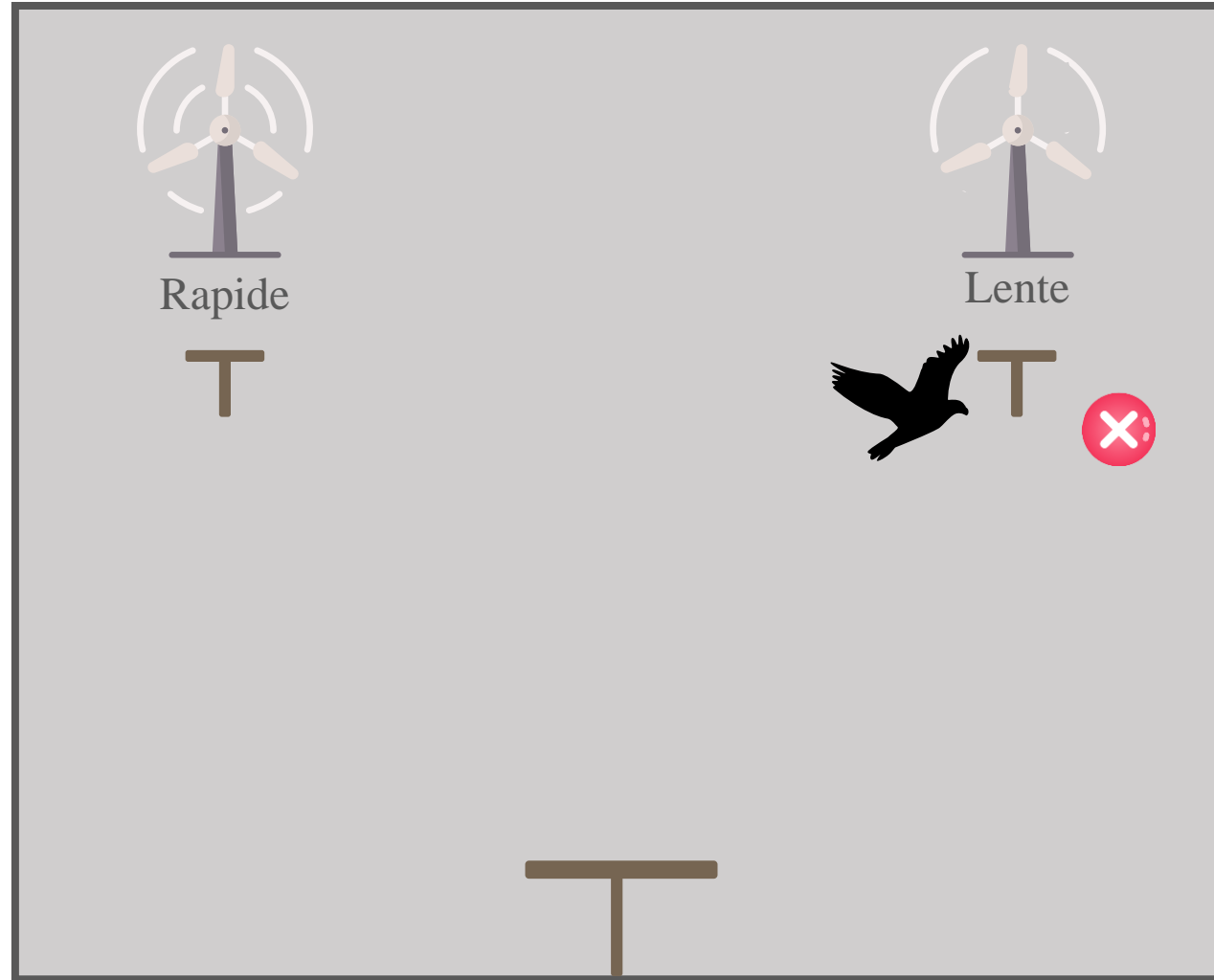
# Mouvement rotatif

Conditionnement opérant



# Mouvement rotatif

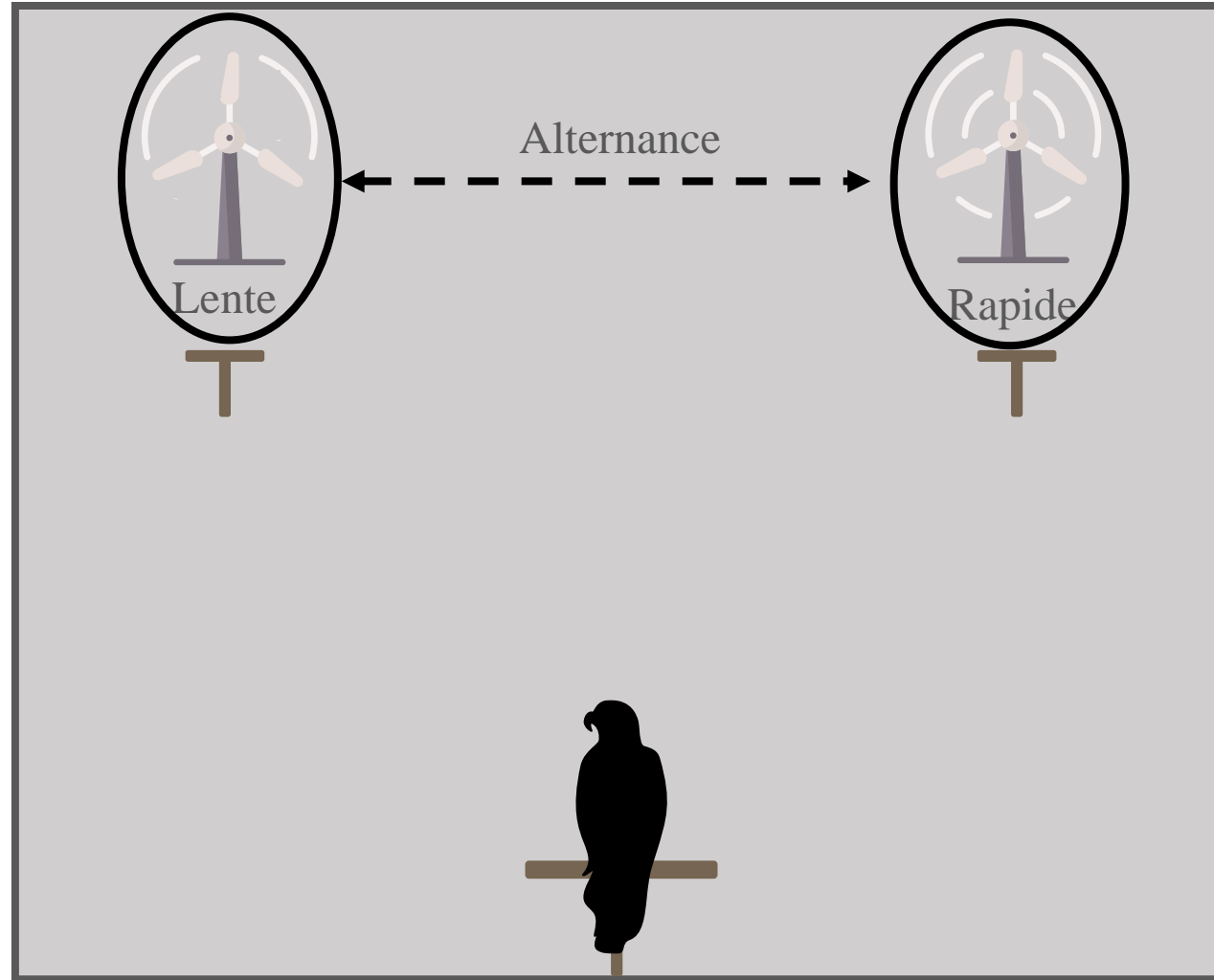
Conditionnement opérant





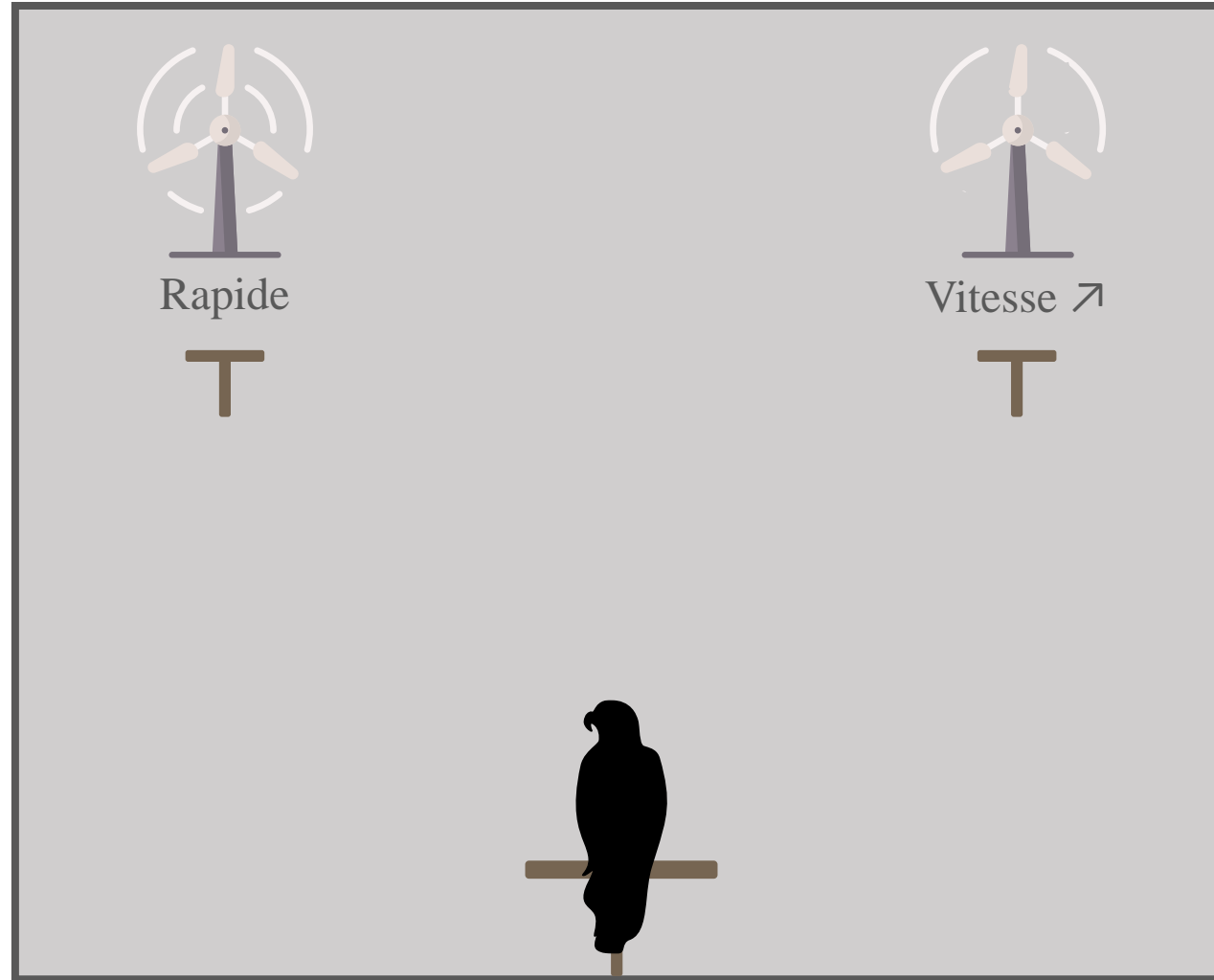
# Mouvement rotatif

Conditionnement opérant



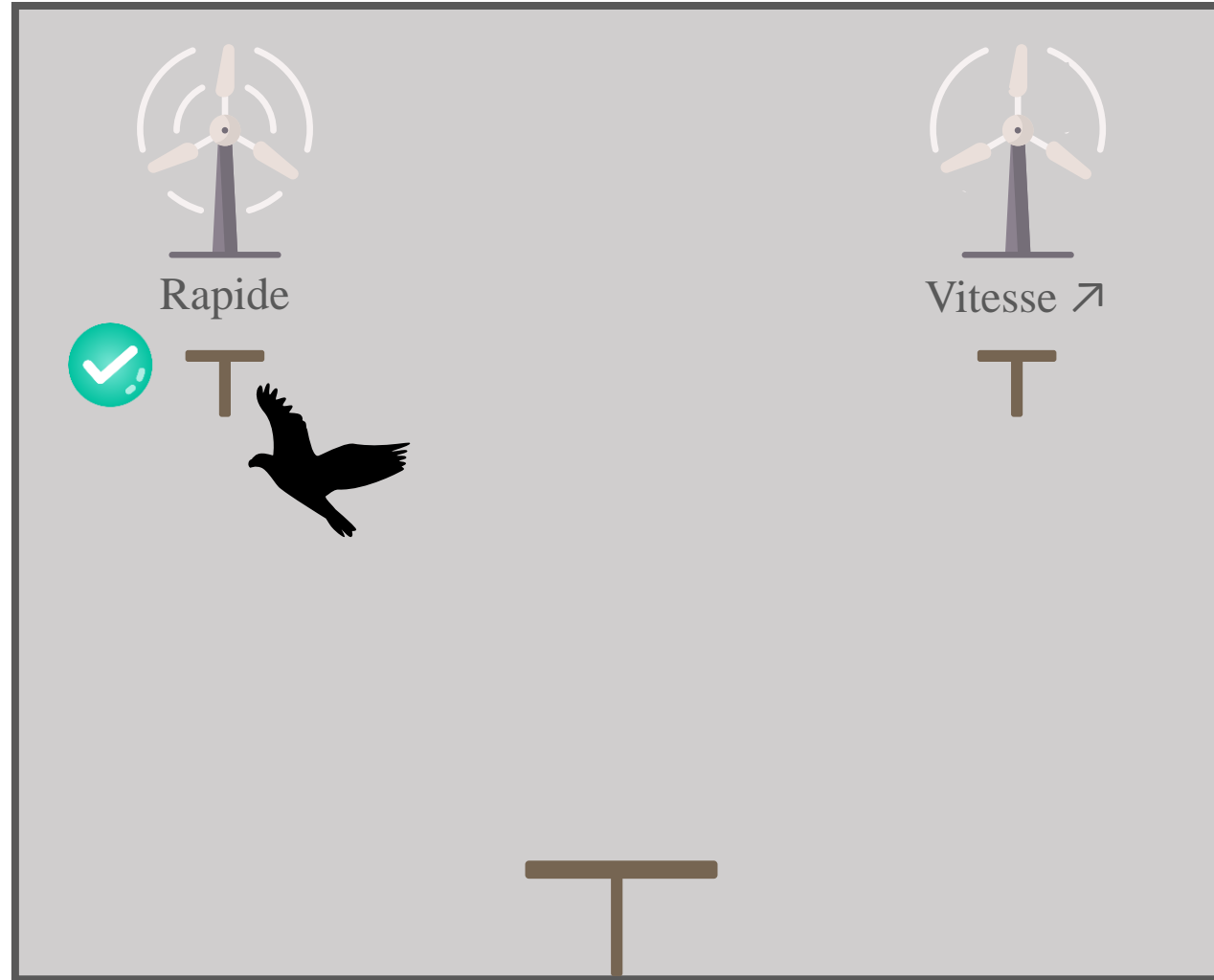
# Mouvement rotatif

Conditionnement opérant



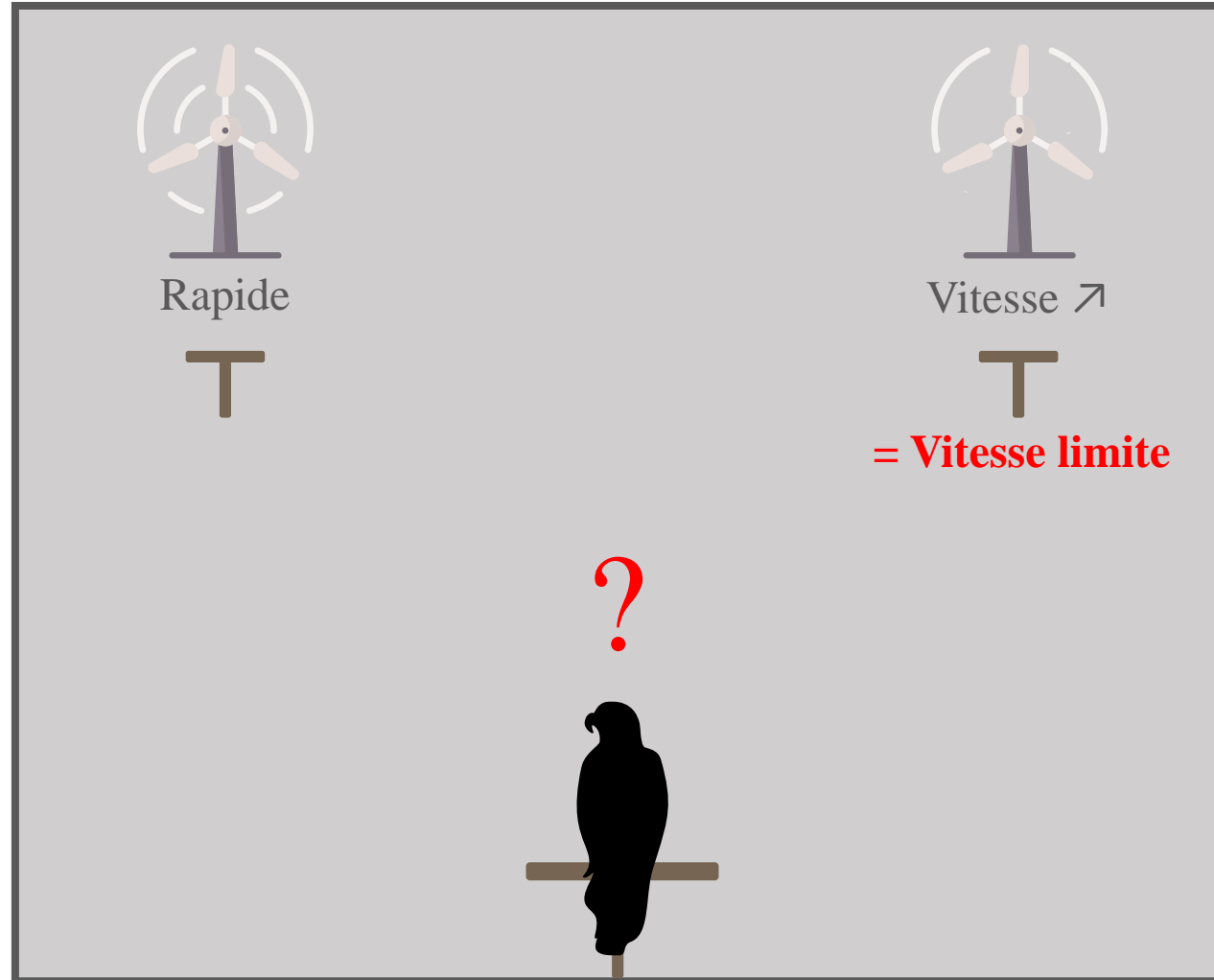
# Mouvement rotatif

Conditionnement opérant



# Mouvement rotatif

Conditionnement opérant



# Mouvement rotatif

*Et après ?*

Seuil de vitesse élevé → limiter la vitesse maximum de rotation ?

Seuil de vitesse bas → définir la vitesse « d'arrêt » ?

Améliorer la perception du mouvement rotatif en distinguant les pales ?

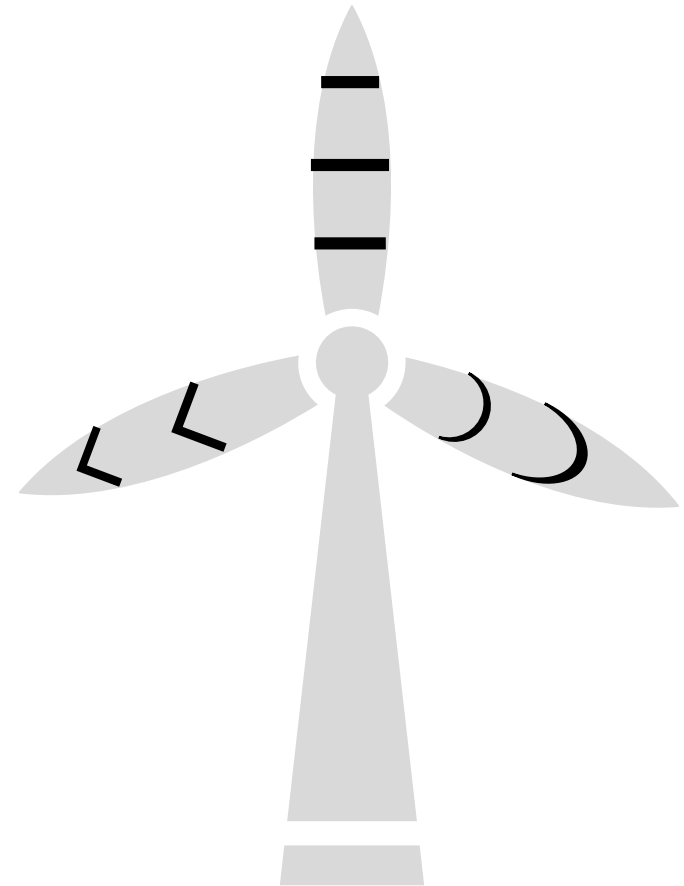
# Mouvement rotatif

La pale noire ?



→ Contraste ?

→ Rotation ?



*May et al. (2020)*

# Et si les oiseaux perçoivent les éoliennes ?

Mauvaise prise de décision ?

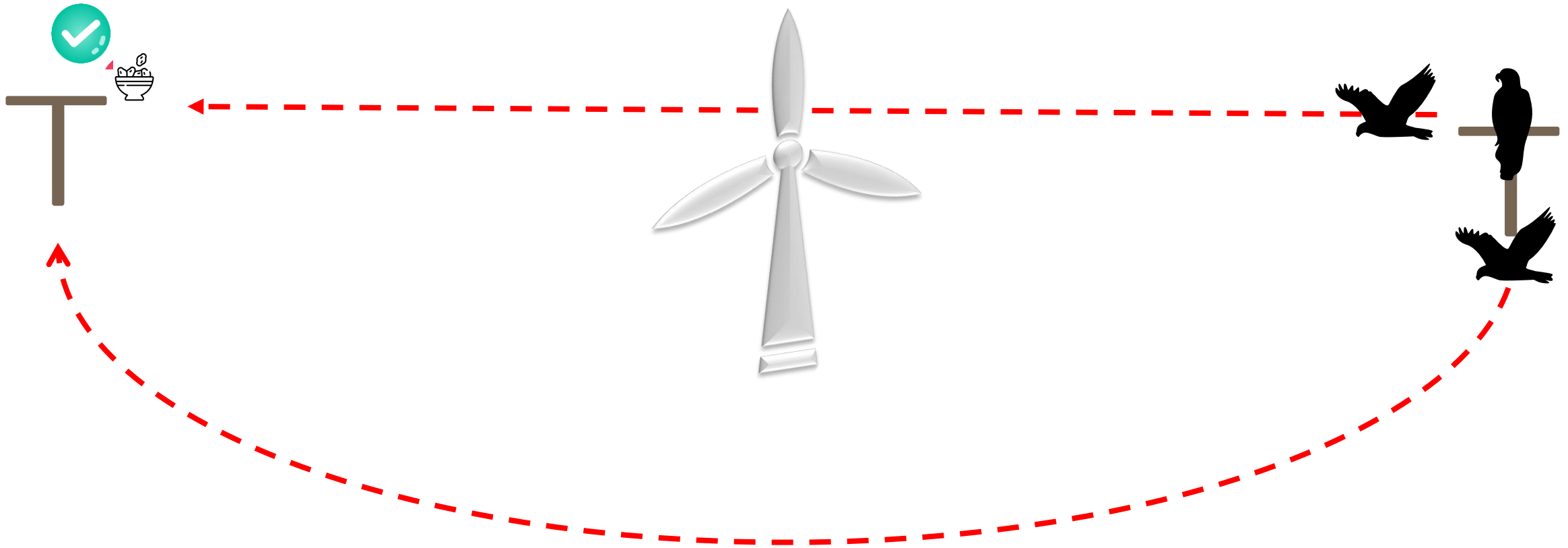


**Vitesse perçue  $\neq$  Vitesse réelle**

# Et si les oiseaux perçoivent les éoliennes ?

Mauvaise prise de décision ?

*Comment le vérifier ?*



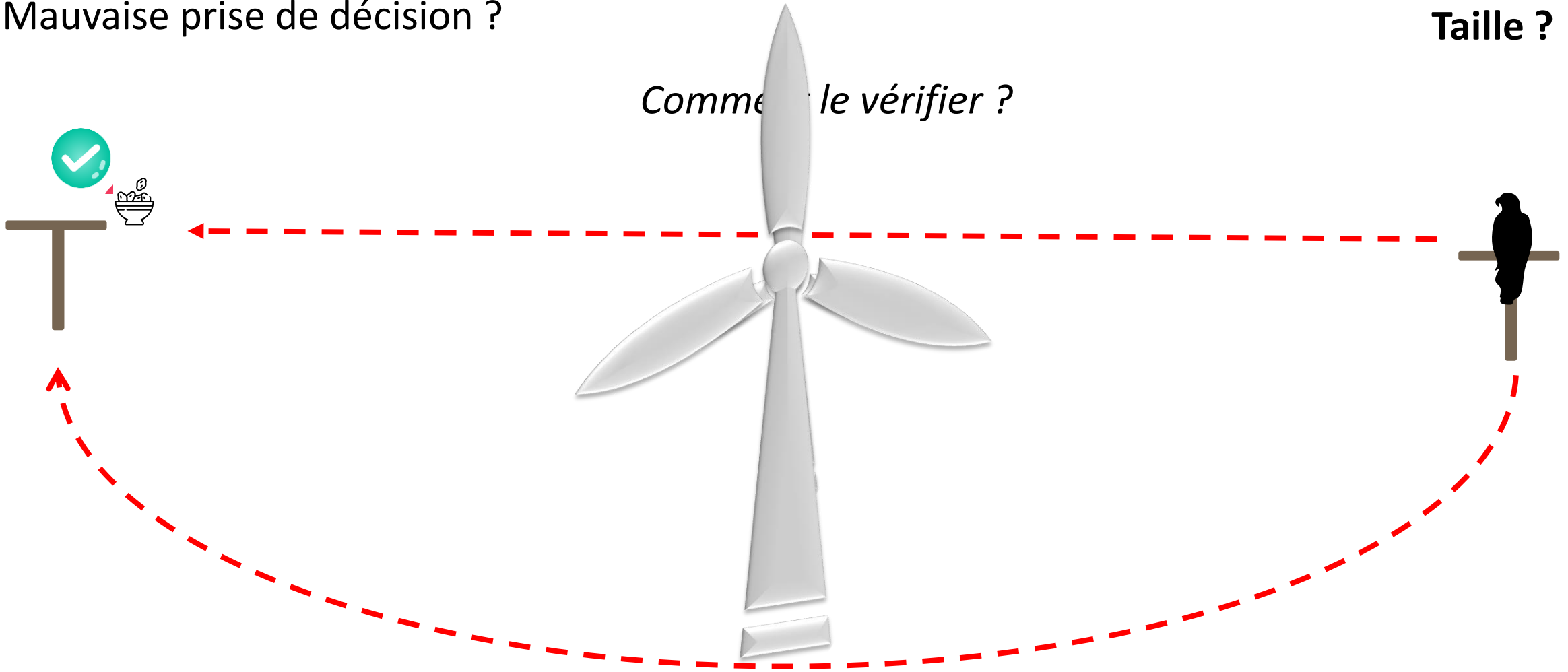


# Et si les oiseaux perçoivent les éoliennes ?

Mauvaise prise de décision ?

Taille ?

*Comment le vérifier ?*

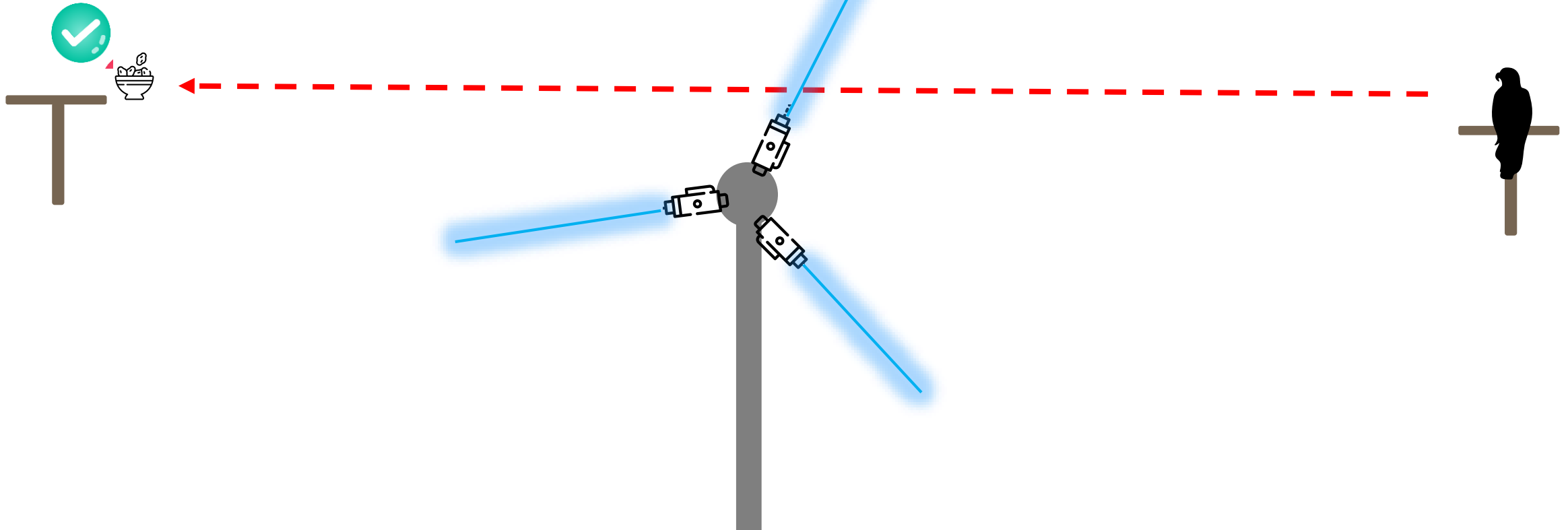


# Et si les oiseaux perçoivent les éoliennes ?

Mauvaise prise de décision ?

*Comment le vérifier ?*

Taille ?  
Matériaux ?



# Origine des collisions ?



Champs de vision

Acuité visuelle

Vision des contrastes

Perception du mouvement rotative

Comportement

Capacités motrices

...

Prise de décision





# 3<sup>ème</sup> Séminaire MAPE

## « Réduction de la Mortalité Aviaire dans les Parcs Éoliens en exploitation »

Synthèse et articulation des travaux des recherches

Olivier DURIEZ et Aurélien BESNARD

30 mars 2021

