

3^{ème} 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

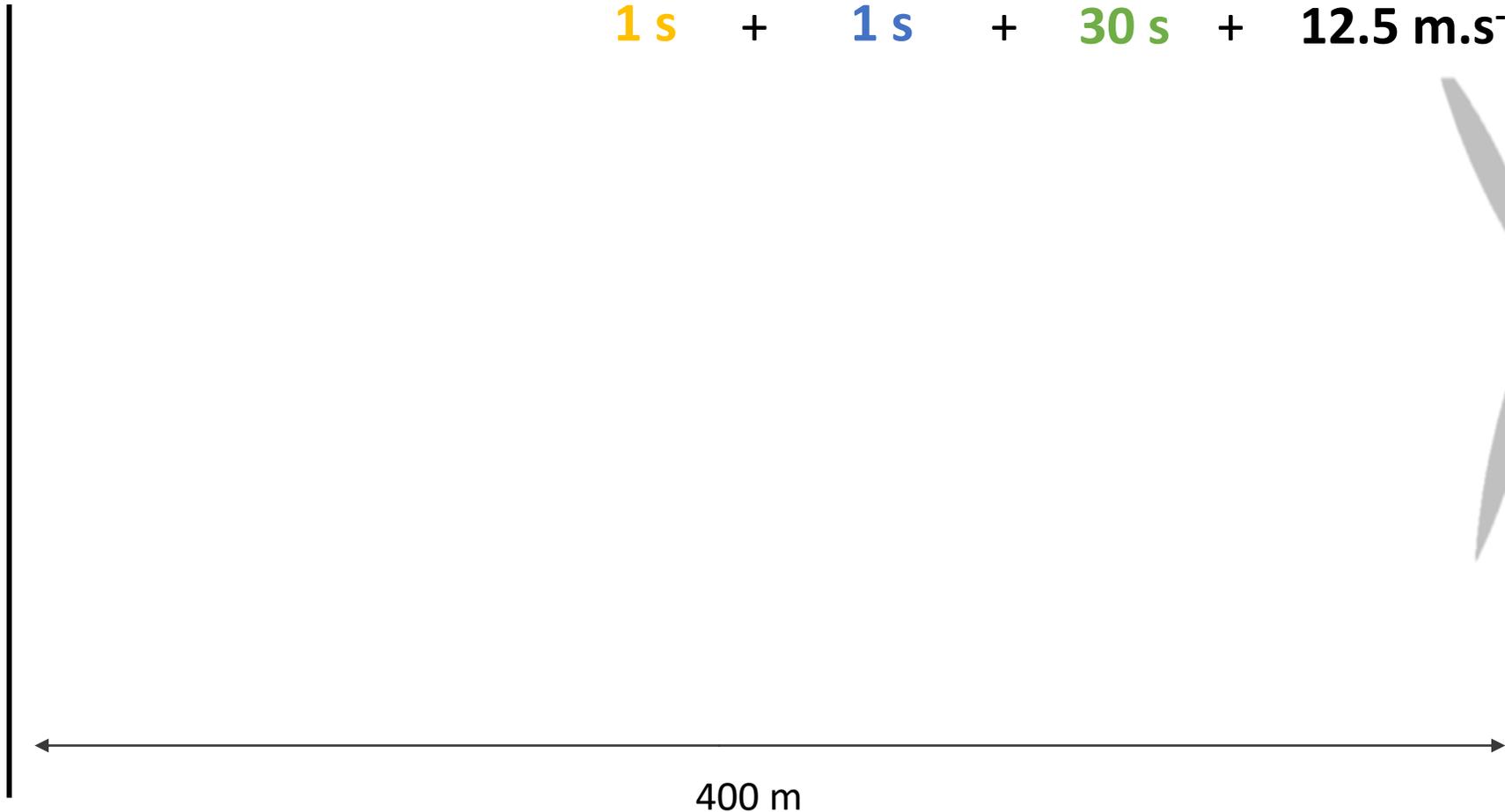


Distance détection minimale $\sim T_{\text{décision}} + T_{\text{signal}} + T_{\text{rotor}} + \text{Vitesse de vol}$
 $1 \text{ s} + 1 \text{ s} + 30 \text{ s}$



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⁻¹**



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⁻¹**



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 ⁻¹)	T_{rotor} (s)	Vitesse rotation 'résiduelle' (m.s ⁻¹)
AAAA	< 10	35	12
AAAA	[10; 20]	31	12.5
AAAA	> 20	32	14.5

Valeurs arbitraires

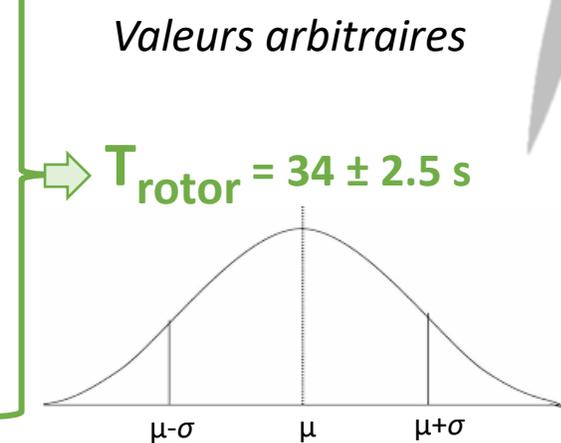


Temps ralentissement/arrêt rotor ~ Modèle turbine + Vitesse vent

⇒ Echanges avec des turbiniers

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

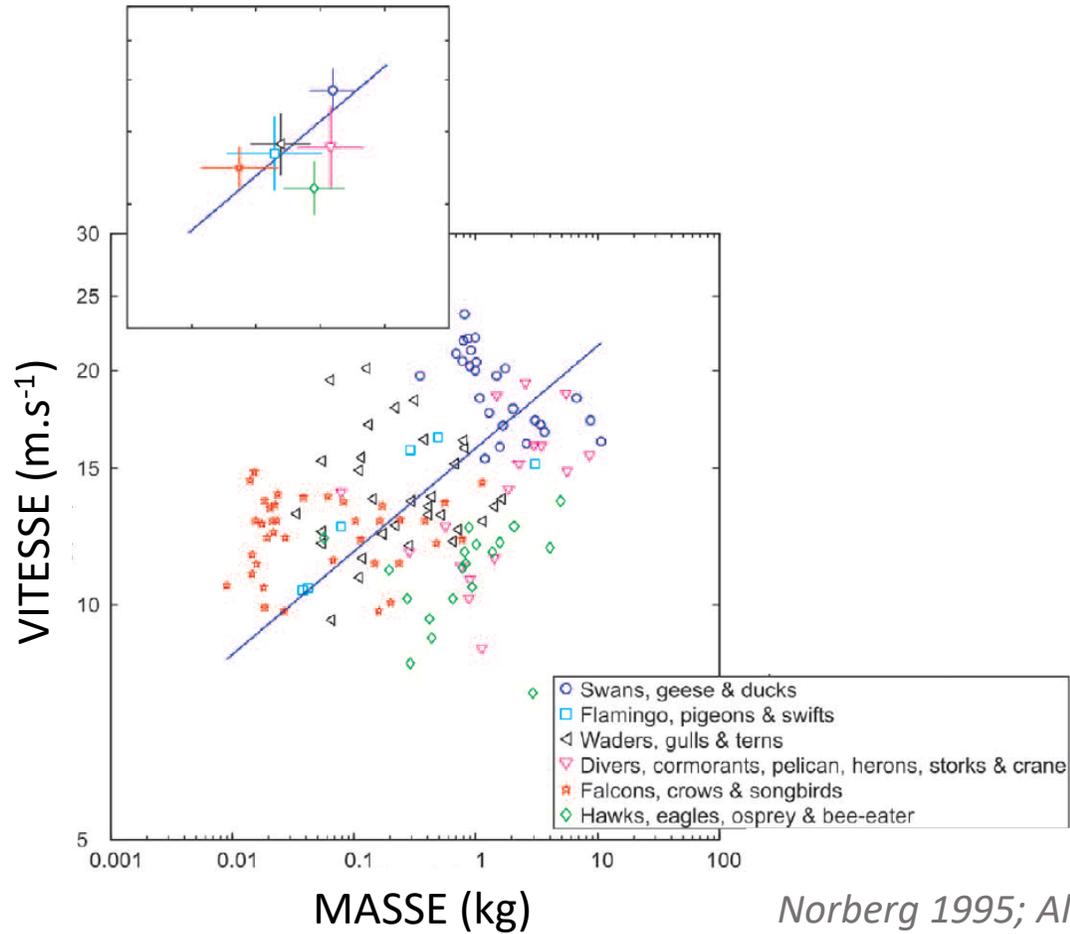
Modèle turbine	Vitesse vent (m.s ⁻¹)	T_{rotor} (s)	Vitesse rotation 'résiduelle' (m.s ⁻¹)
AAAA	< 10	35	12
AAAA	[10; 20]	31	12.5
AAAA	> 20	32	14.5
BBBB	< 10	38	13
BBBB	[10; 20]	34	14
BBBB	> 20	35	15.5



Vitesse de vol ~

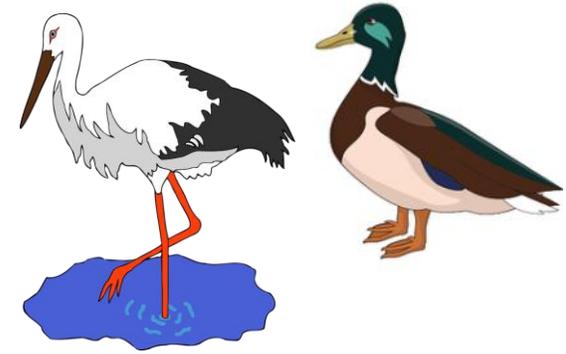
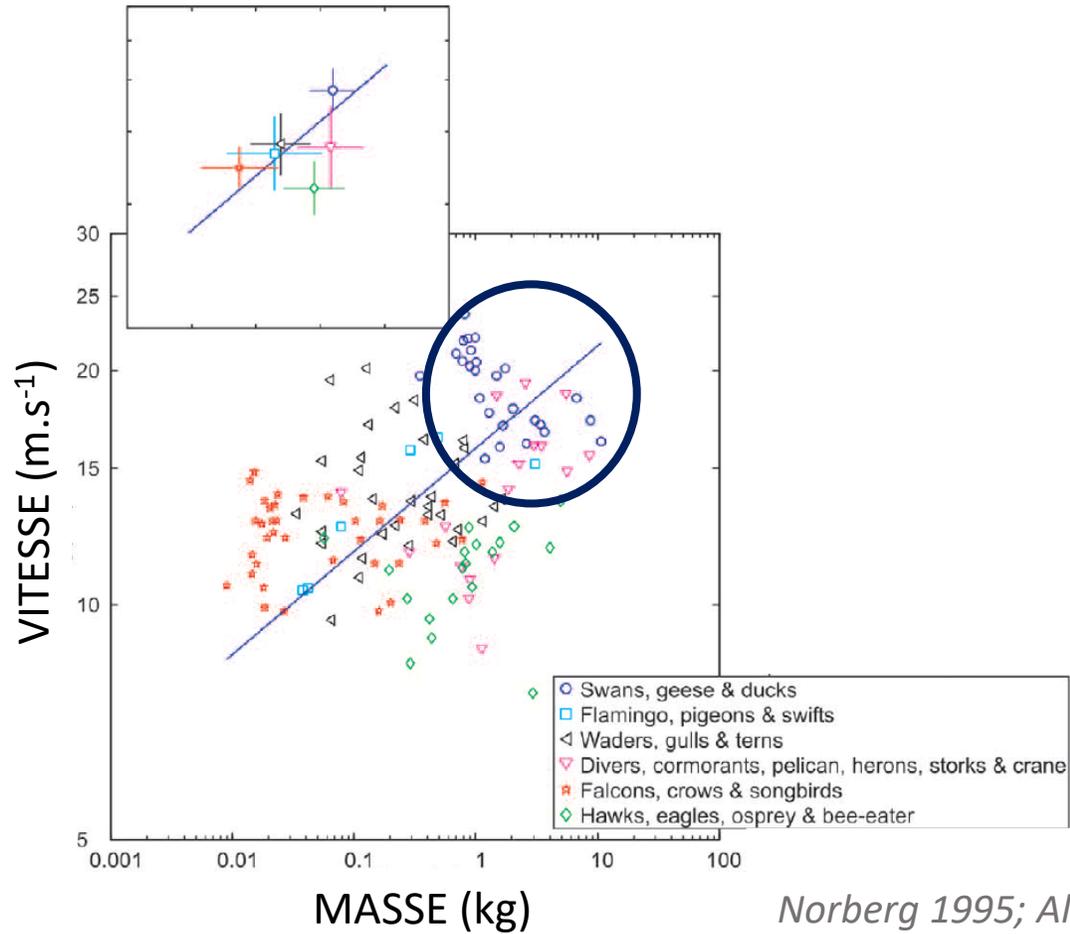


Vitesse de vol ~ Morphologie



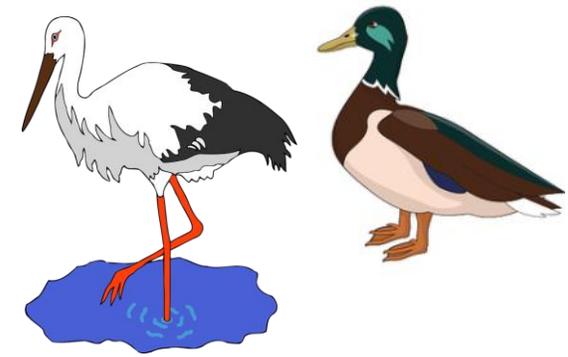
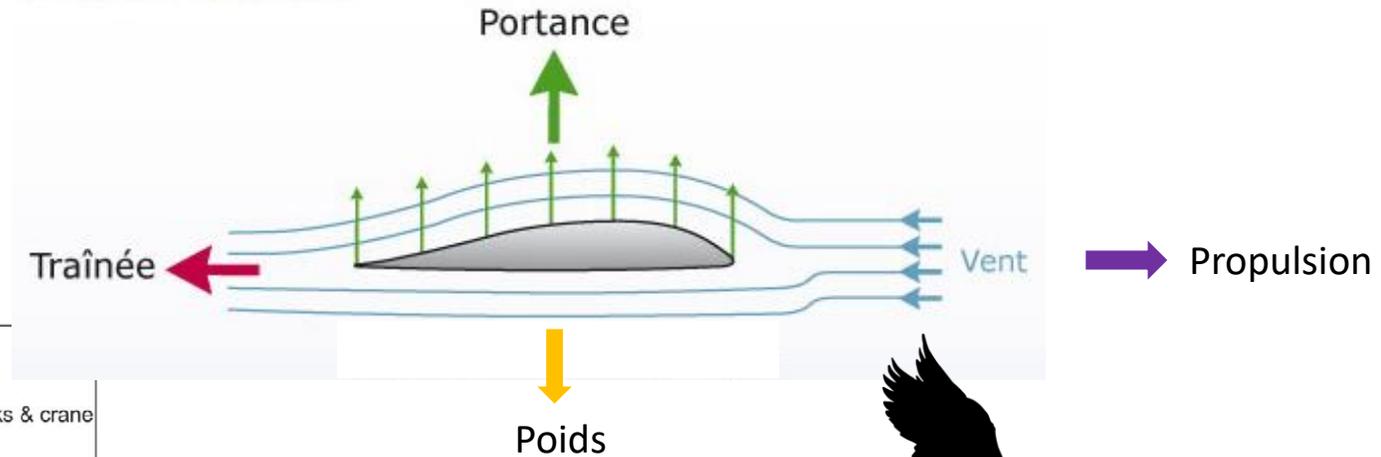
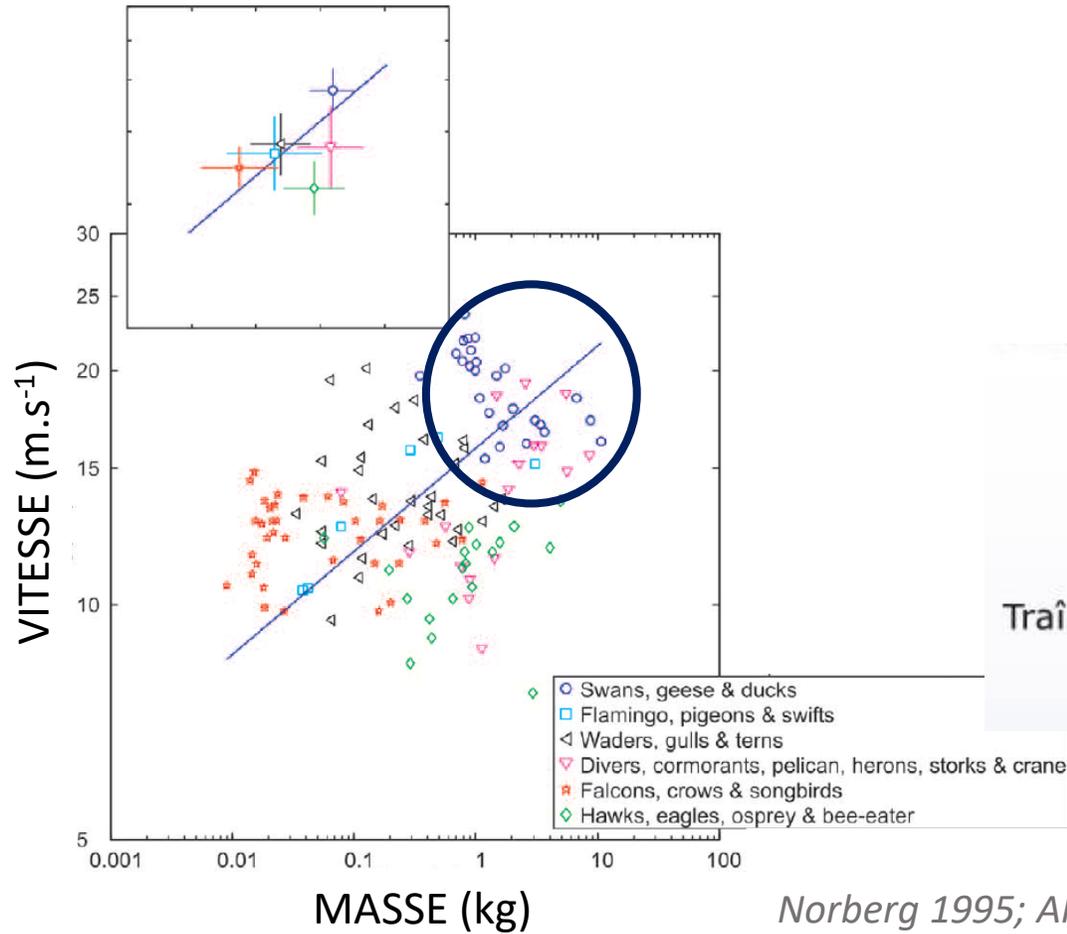
Norberg 1995; Alerstam et al. 2007

Vitesse de vol ~ Morphologie



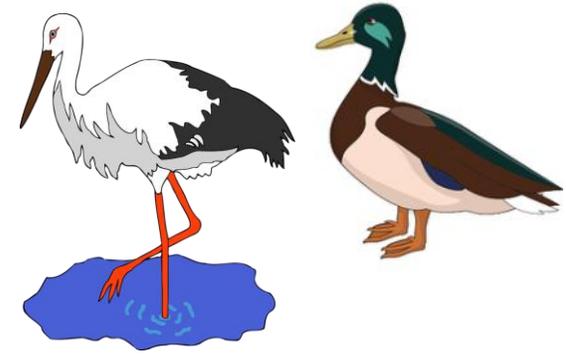
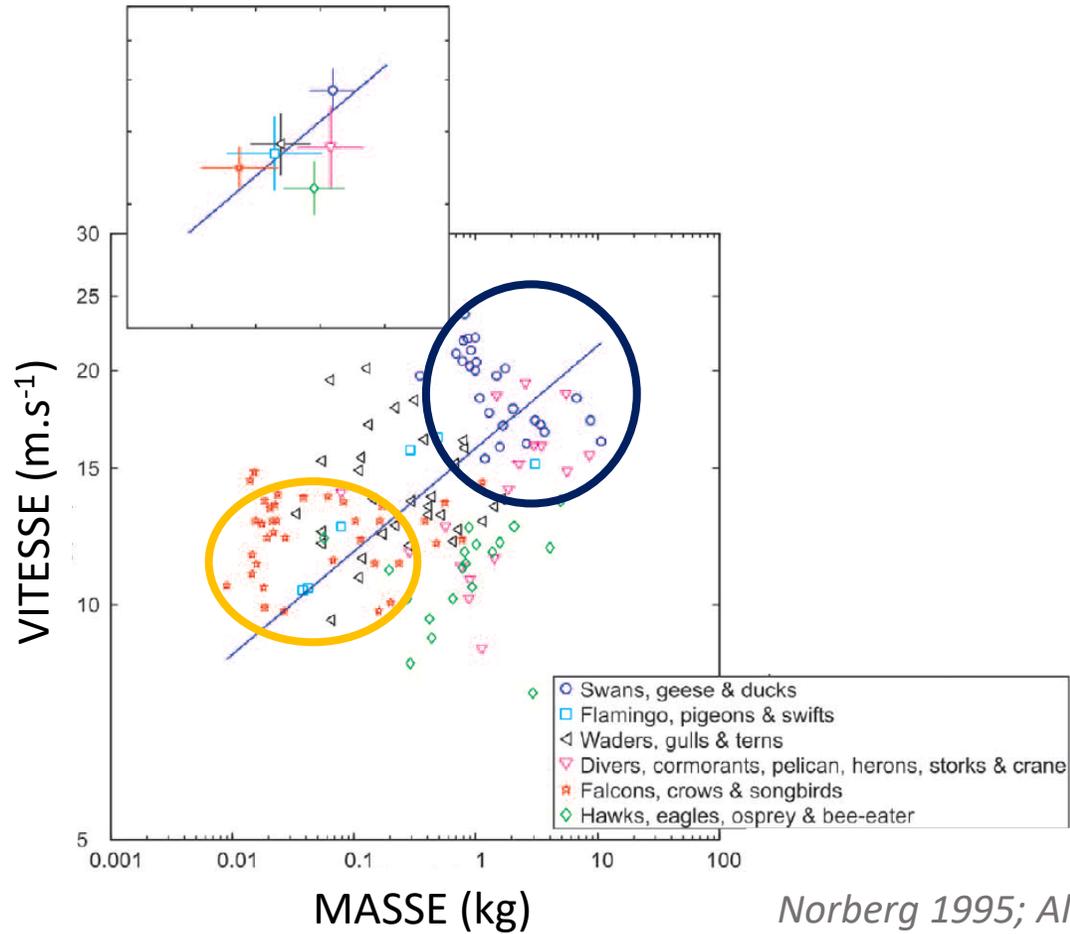
Norberg 1995; Alerstam et al. 2007

Vitesse de vol ~ Morphologie



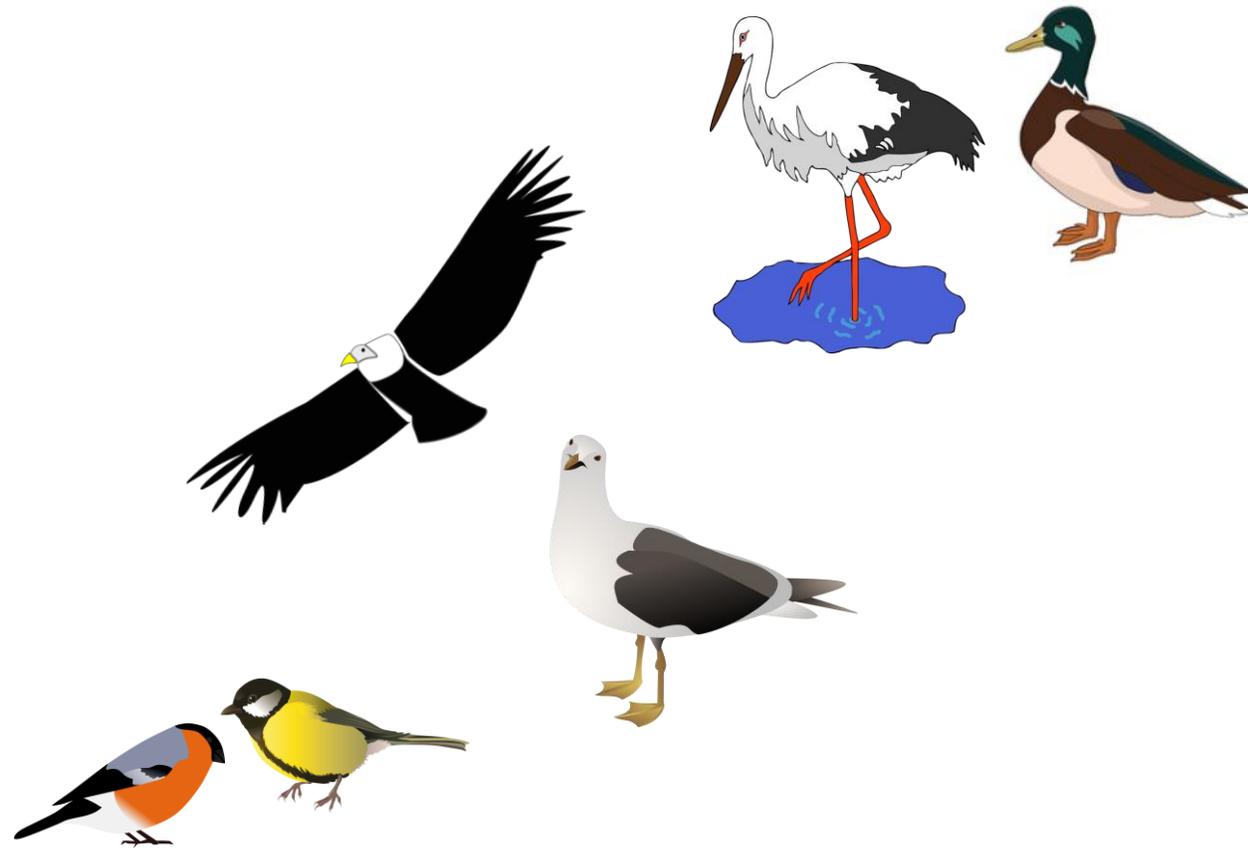
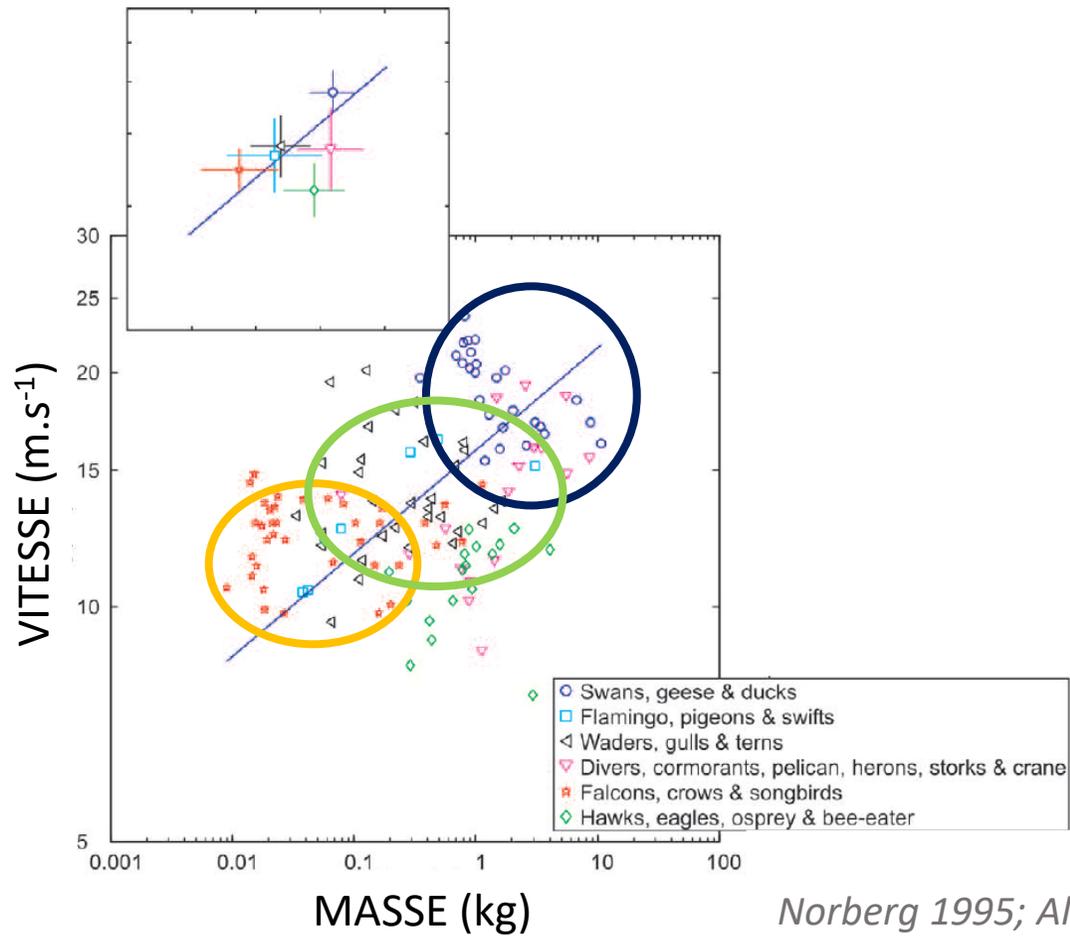
Norberg 1995; Alerstam et al. 2007

Vitesse de vol ~ Morphologie



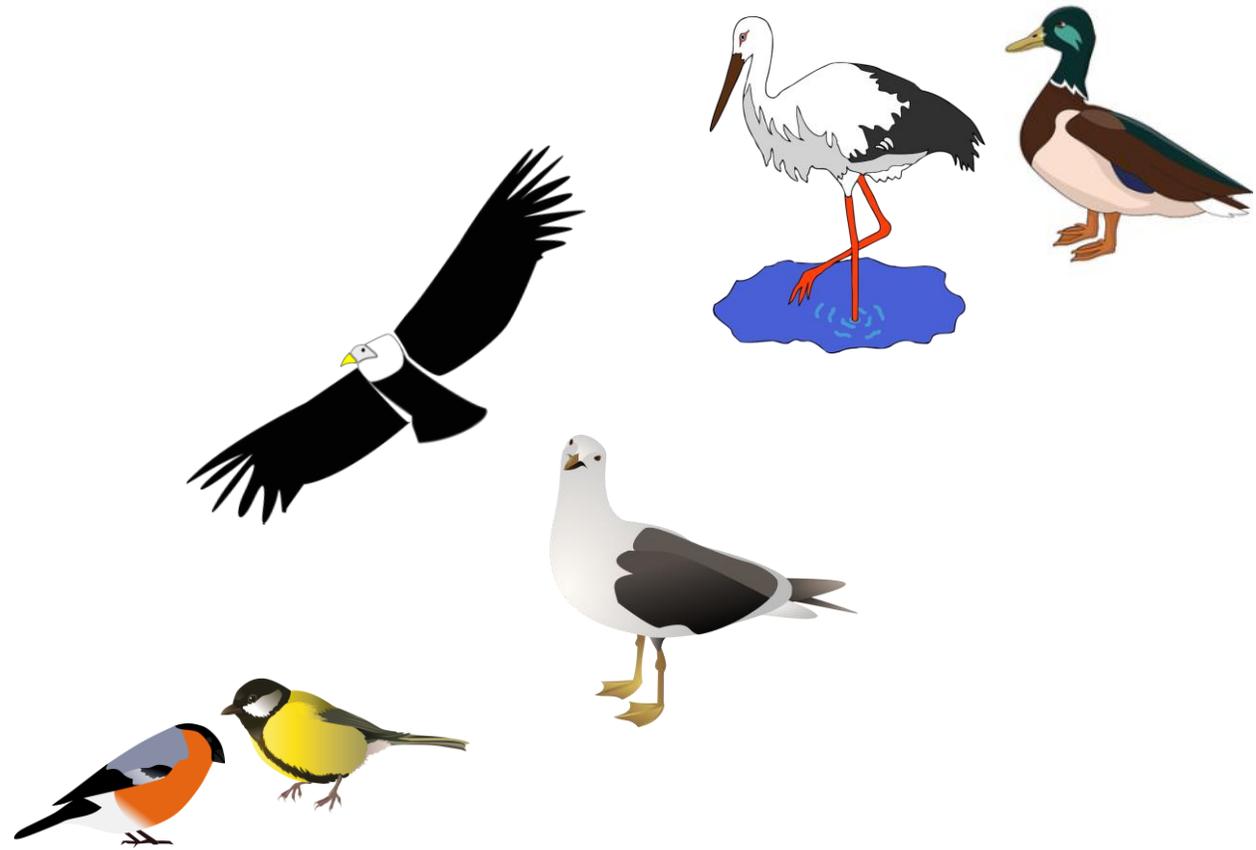
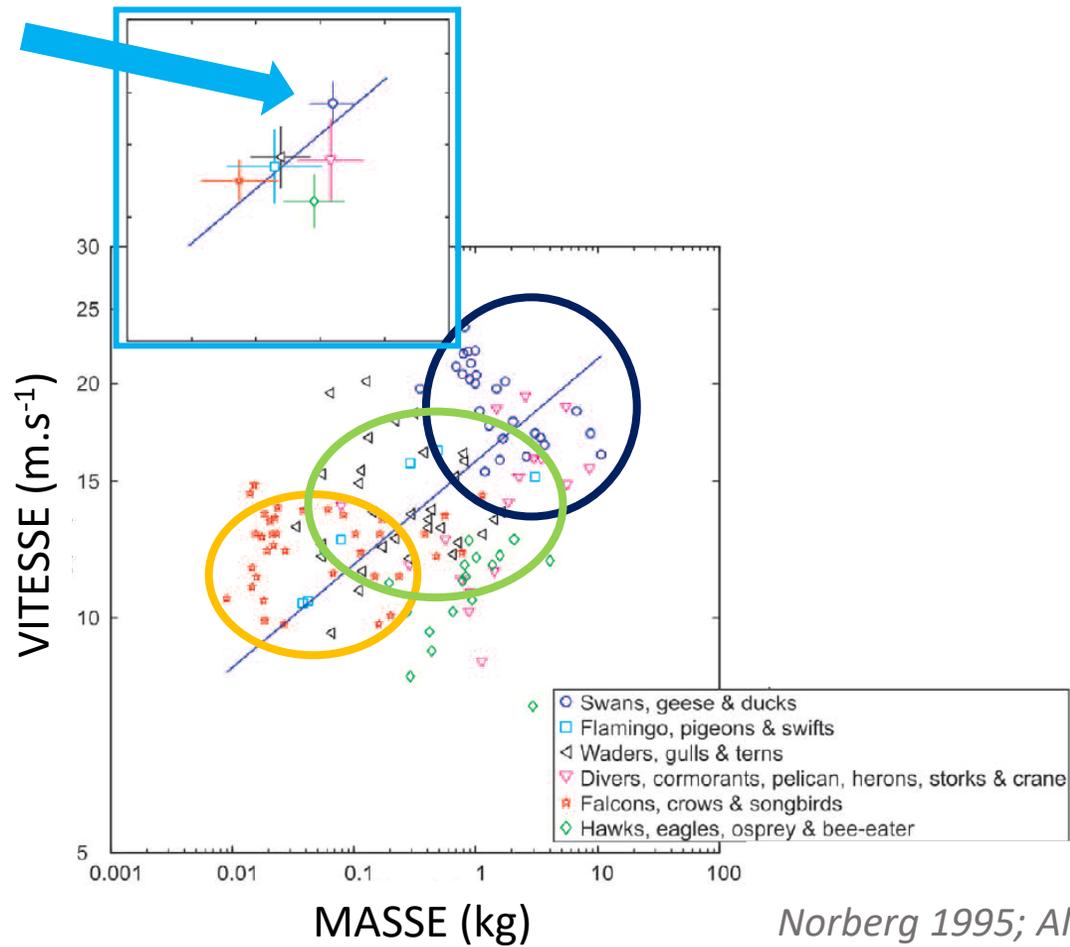
Norberg 1995; Alerstam et al. 2007

Vitesse de vol ~ Morphologie



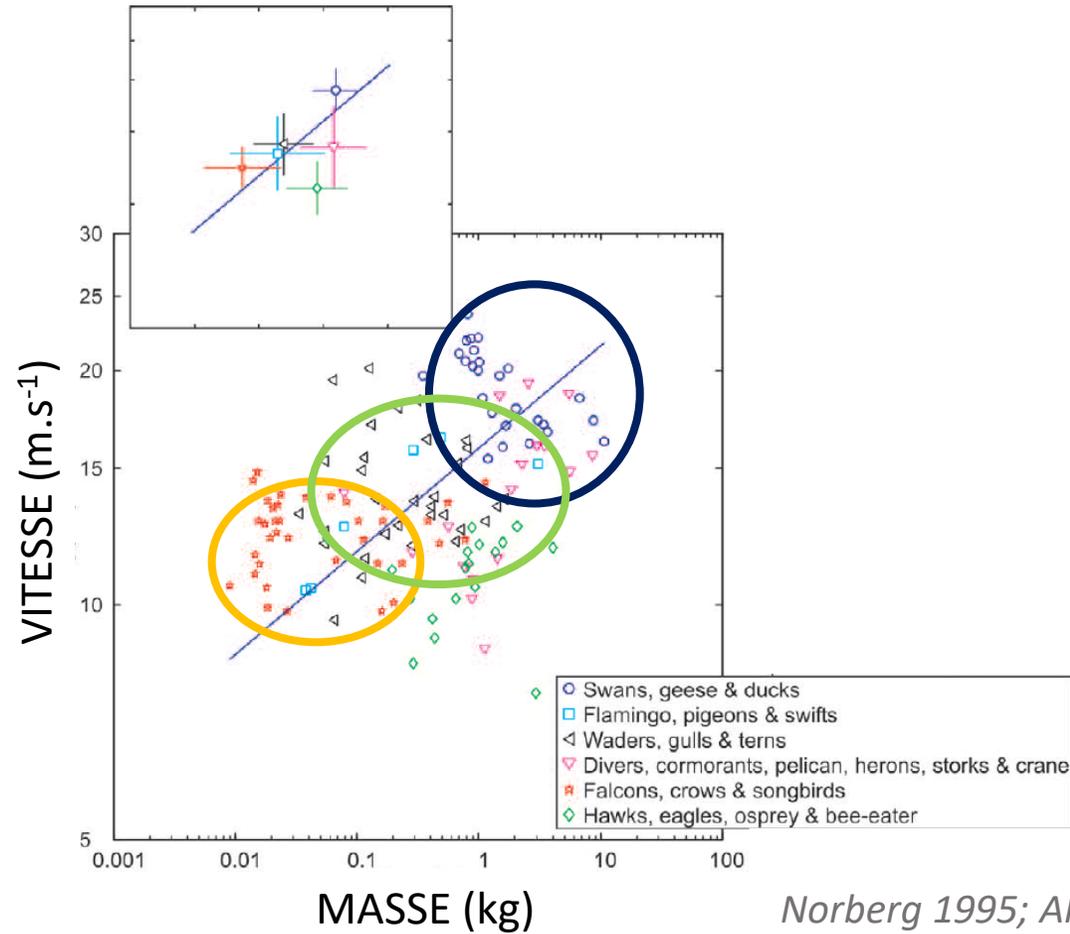
Norberg 1995; Alerstam et al. 2007

Vitesse de vol ~ Morphologie

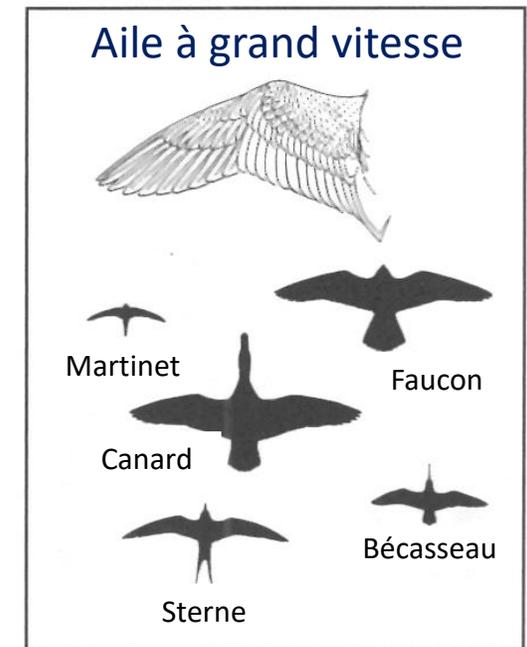


Norberg 1995; Alerstam et al. 2007

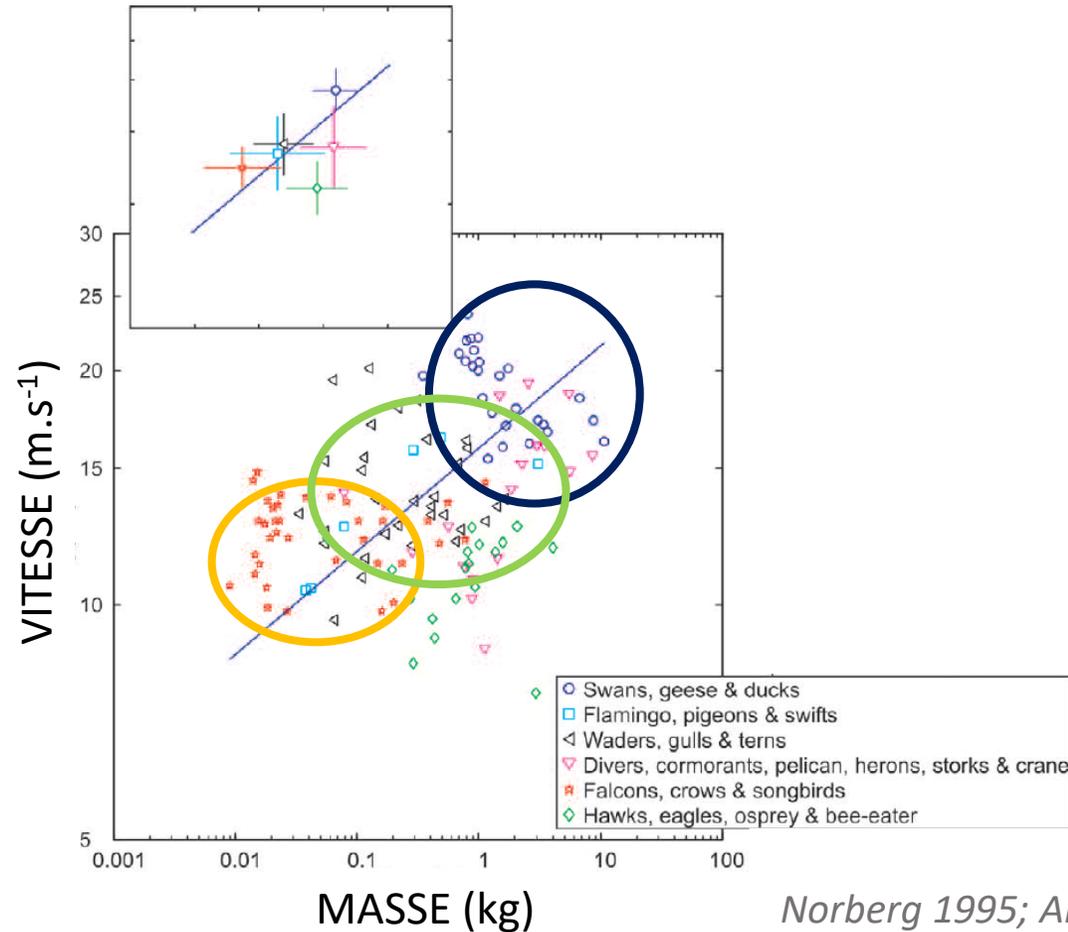
Vitesse de vol ~ Morphologie



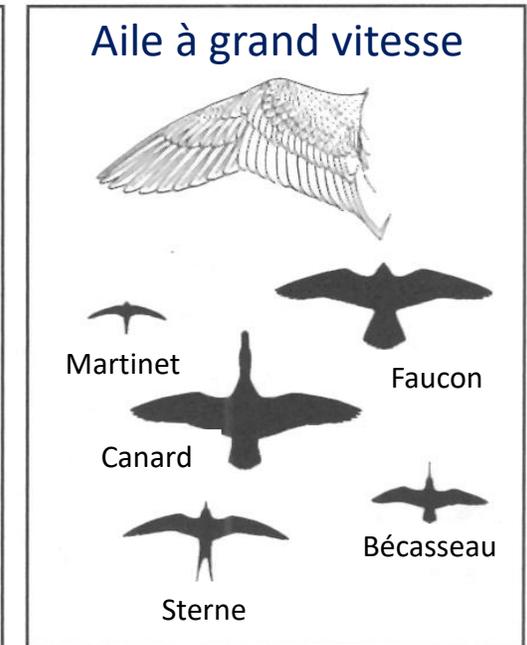
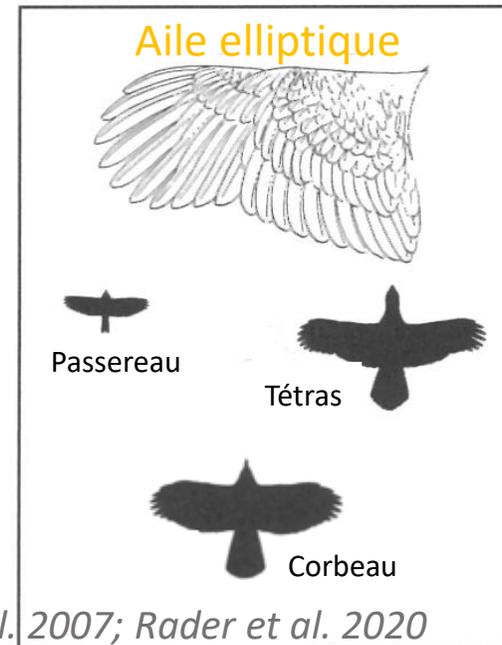
Norberg 1995; Alerstam et al. 2007; Rader et al. 2020



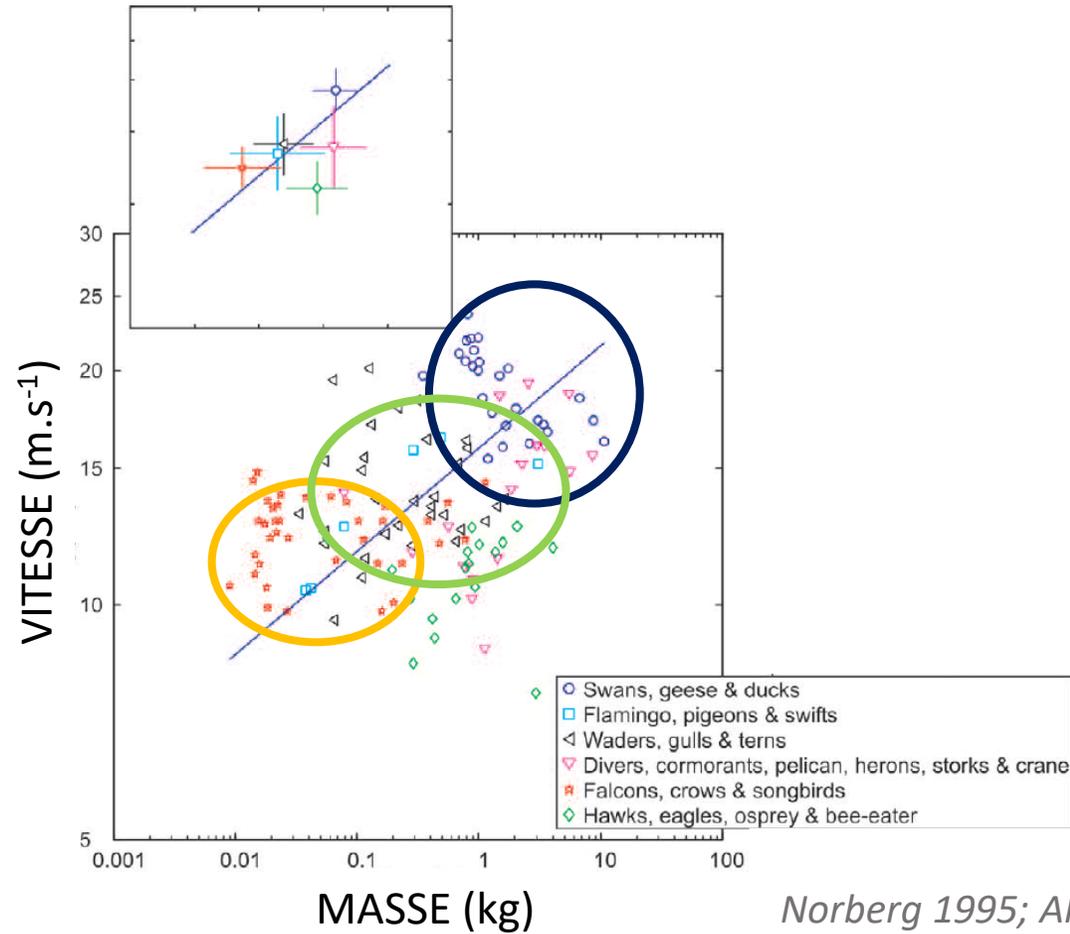
Vitesse de vol ~ Morphologie



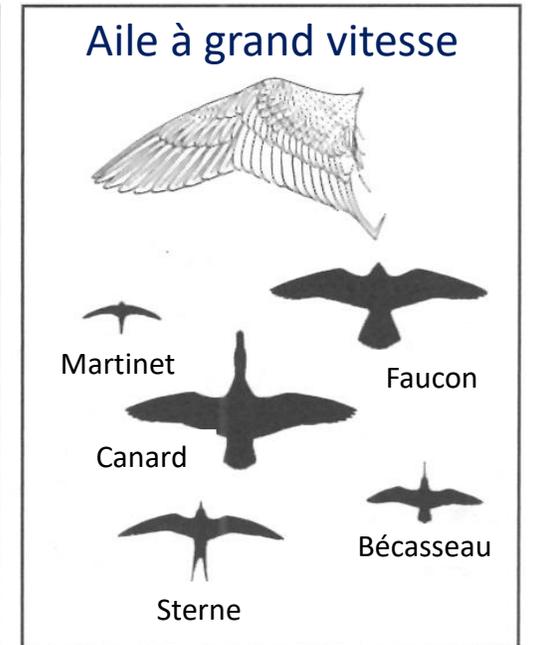
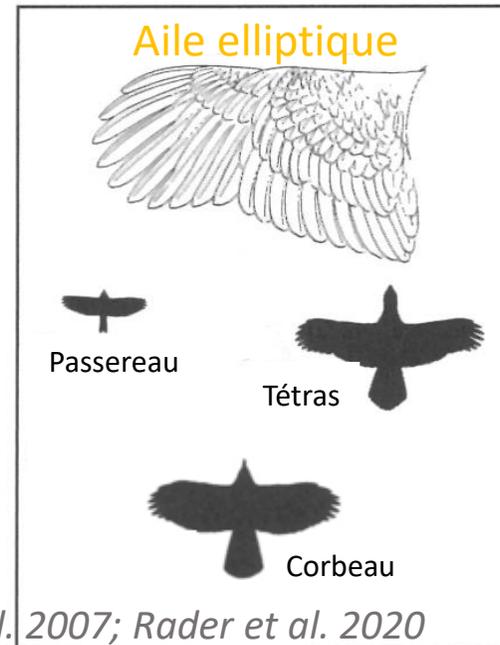
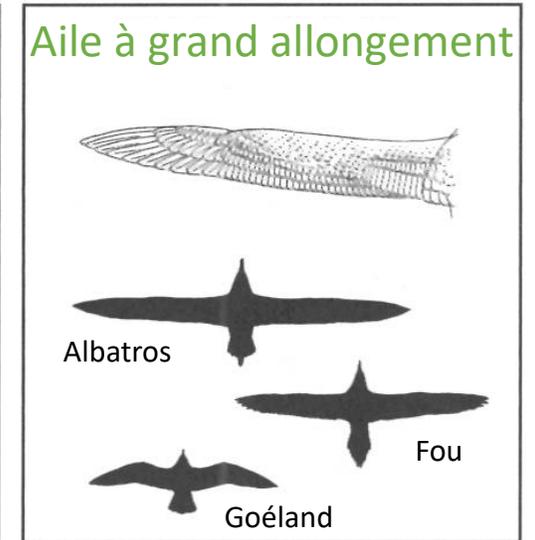
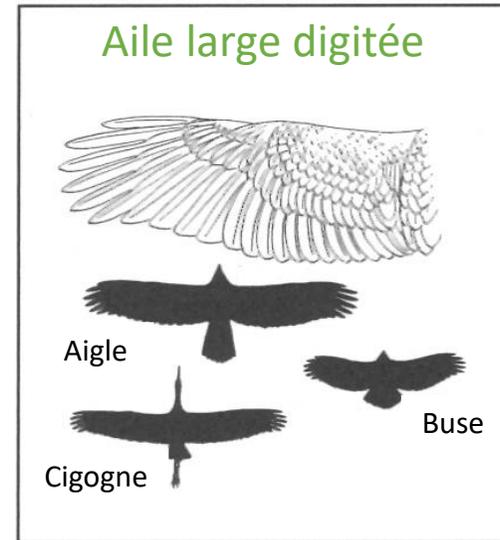
Norberg 1995; Alerstam et al. 2007; Rader et al. 2020



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
BATTU	
PLANÉ	

Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007

Déplacement Type de vol	Horizontal = mouvement	Stationnaire, Vertical
BATTU		
PLANÉ		

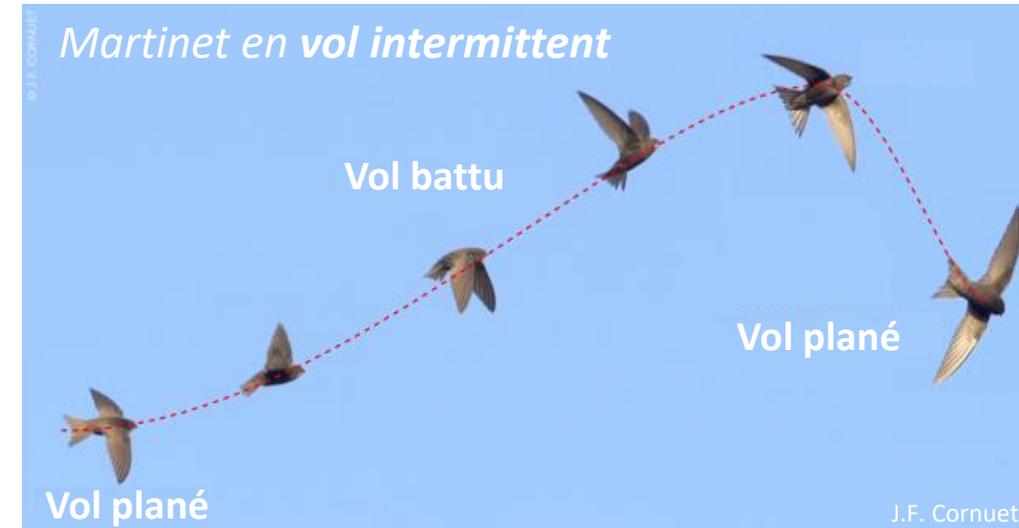
Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007

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



Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007

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



Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007

Déplacement Type de vol	Horizontal	
BATTU	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Continu <i>Ex: canards, oies, cygnes</i> ➤ Intermittent <i>Ex: passereaux, martinets</i> 	
PLANÉ	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Plané 	<p><i>Ex: rapaces, cigogne, grue</i></p> <div data-bbox="517 929 1490 1375" style="text-align: center;">  <p><i>Grues en vol plané descendant</i></p> </div>

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

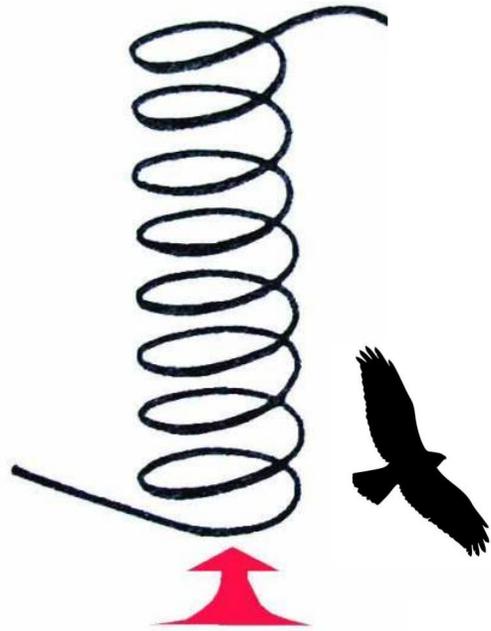


Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007

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



Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007



Ascendance thermique

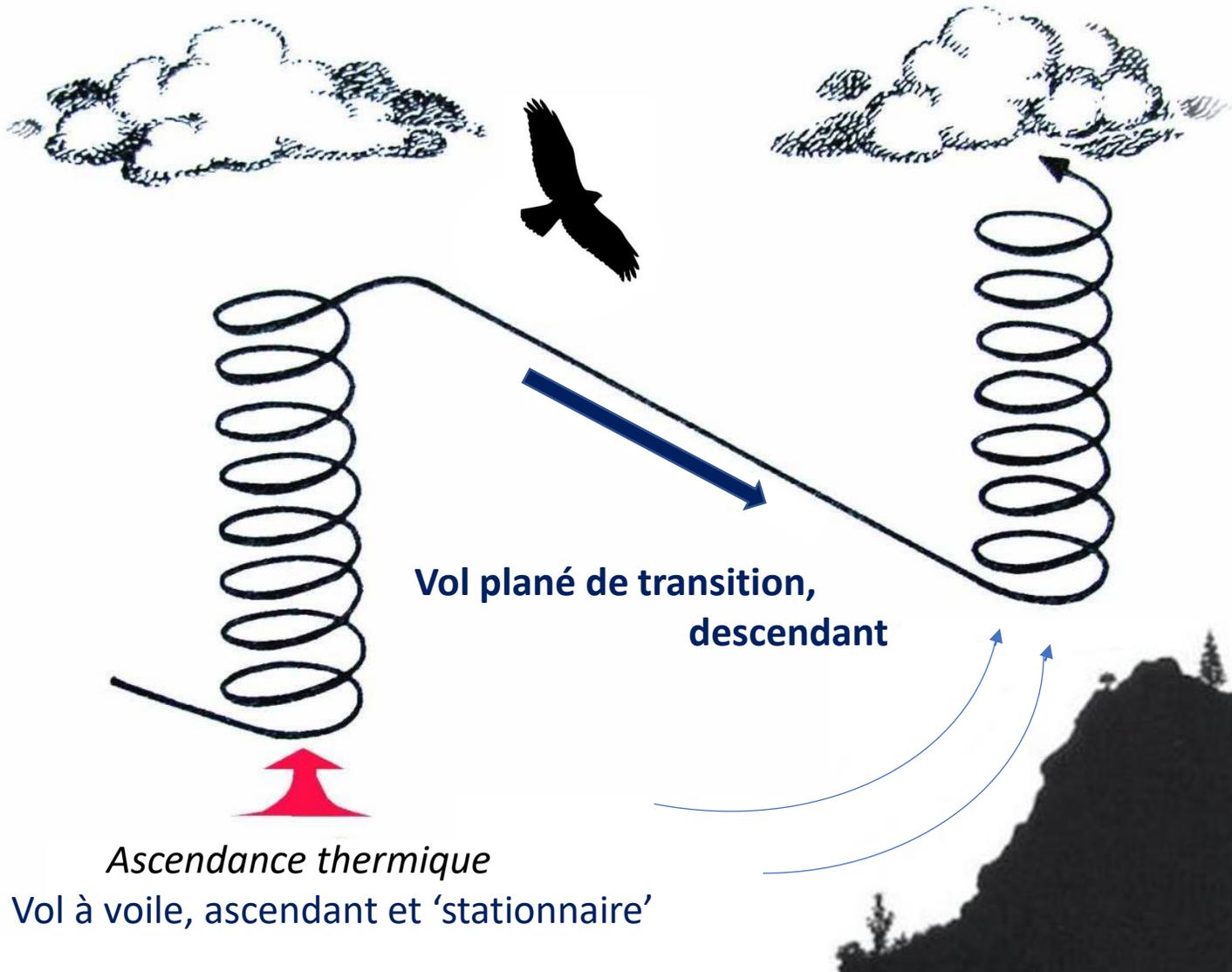
Vol à voile, ascendant et 'stationnaire'

Stationnaire, Vertical

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

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





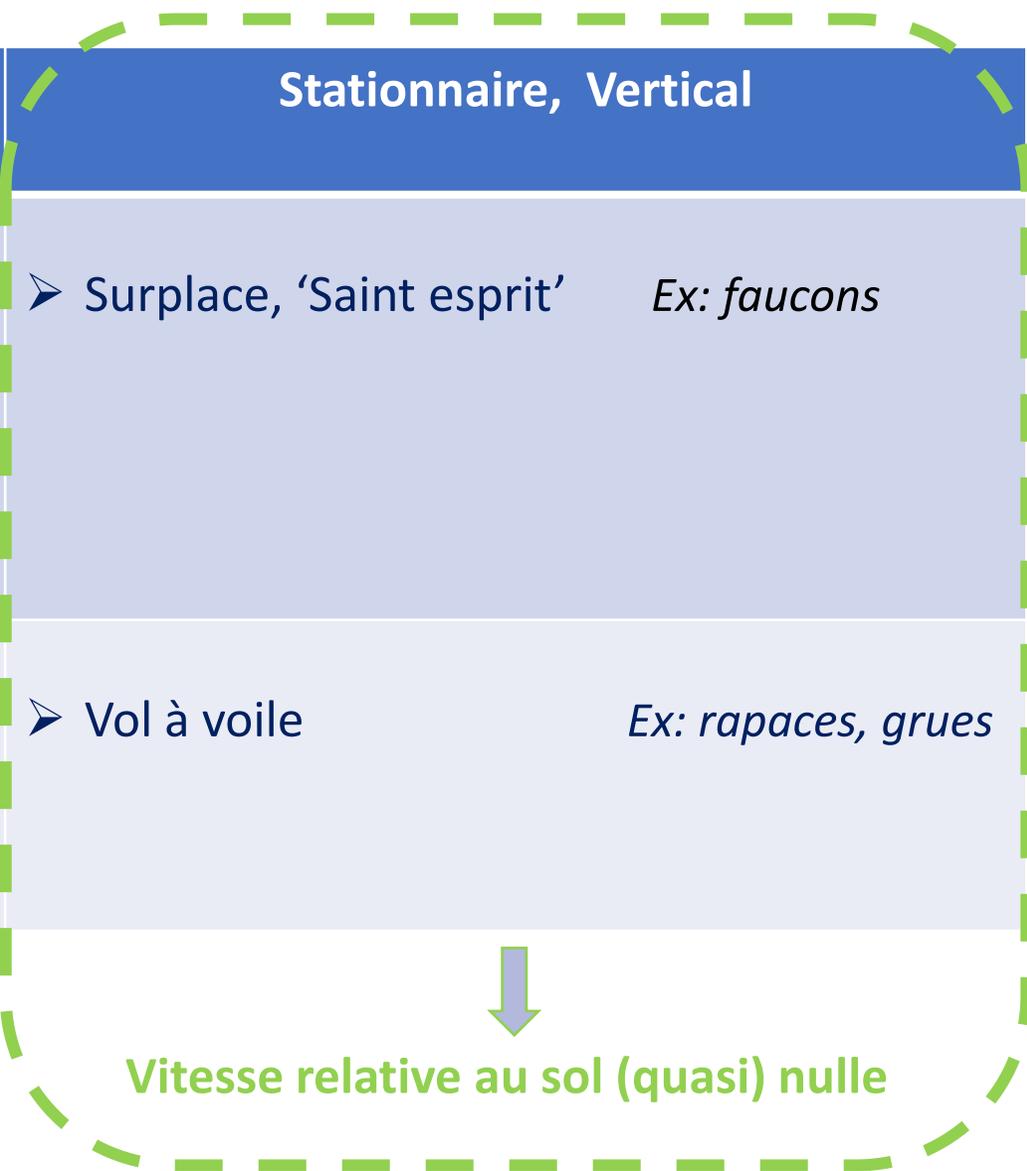
Stationnaire, Vertical

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

➤ Vol à voile *Ex: rapaces, grues*

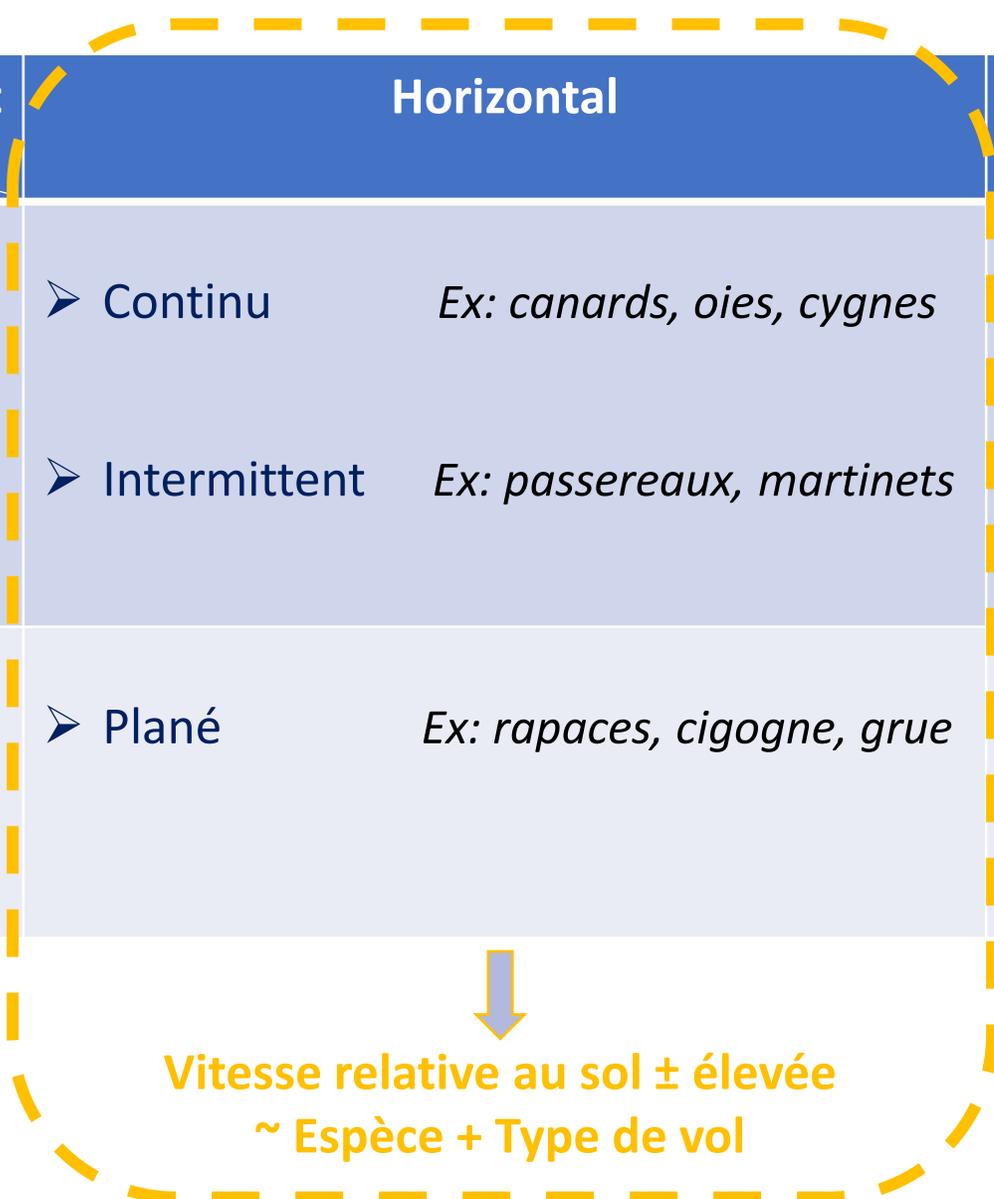


Déplacement Type de vol	Horizontal	Stationnaire, Vertical
BATTU	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Continu <i>Ex: canards, oies, cygnes</i> ➤ Intermittent <i>Ex: passereaux, martinets</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Surplace, 'Saint esprit' <i>Ex: faucons</i>
PLANÉ	<ul style="list-style-type: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



Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007

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



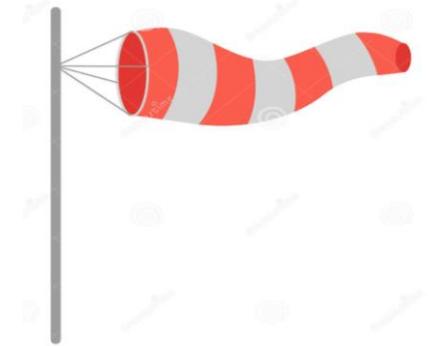
Vitesse relative au sol ± élevée
~ Espèce + Type de vol

Brown 1963; Dhawan 1991, Alerstam et al. 2007

Vitesse de vol \sim Morphologie + Conditions environnementales

- **Vitesse et direction du vent**

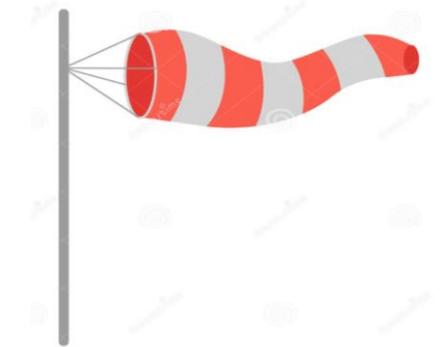
Spear & Ainley, 1997; Lietchi & Bruderer, 1998; Lietchi, 2006; Safi et al. 2013



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



$$V_{\text{vent}} = 0 \text{ m.s}^{-1}$$

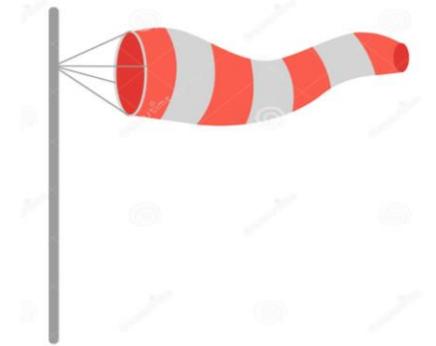


$$V_{\text{sol}} = 8 \text{ m.s}^{-1}$$

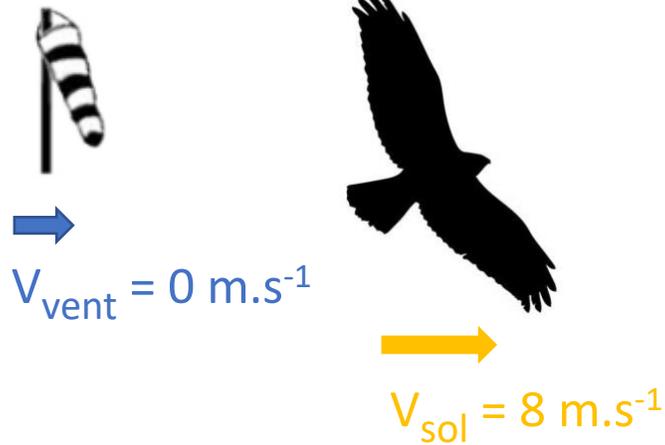
Vitesse de vol ~ Morphologie + Conditions environnementales

- Vitesse et direction du vent

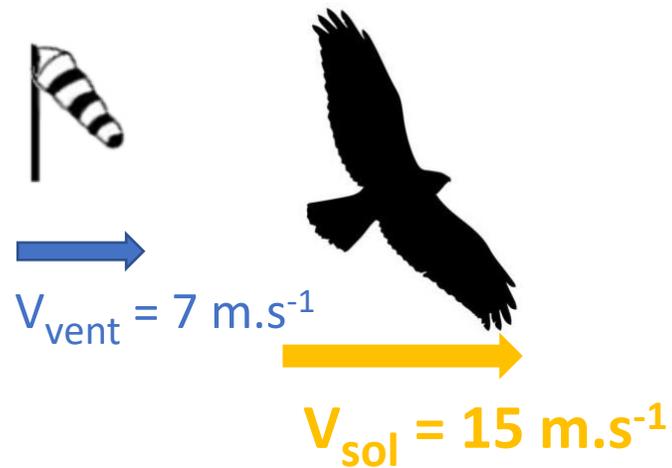
↔ Si l'oiseau vole vent arrière, sa vitesse relative au sol augmente



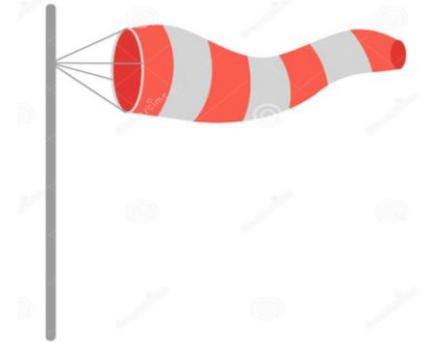
VENT NUL



VENT ARRIÈRE



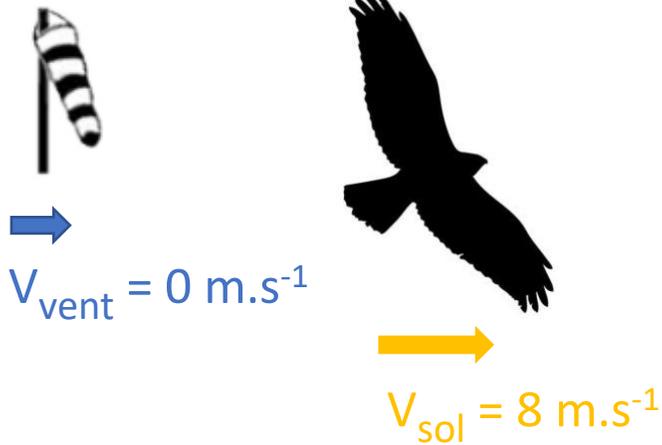
Vitesse de vol \sim Morphologie + Conditions environnementales



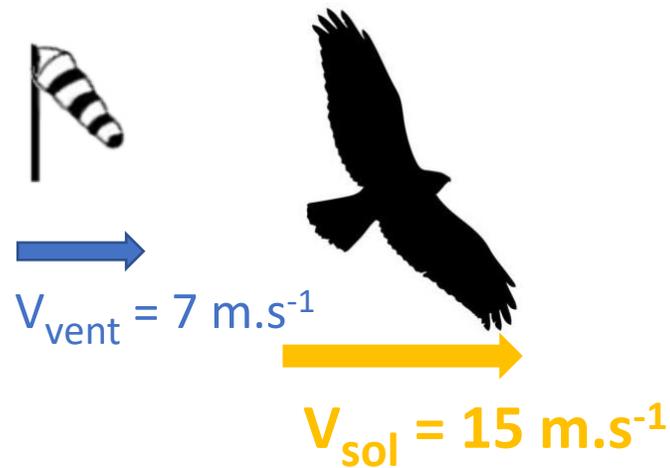
- Vitesse et direction du vent

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

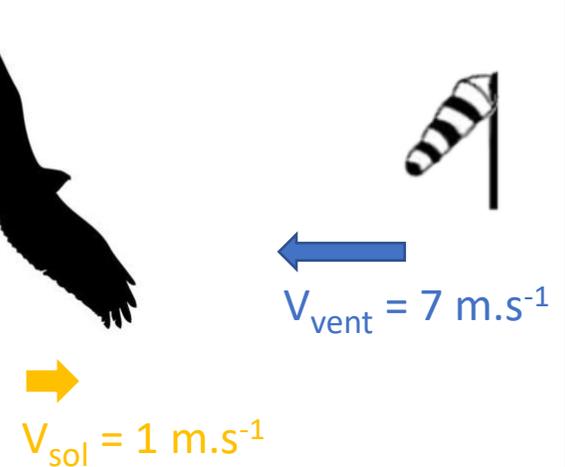
VENT NUL



VENT ARRIÈRE



VENT de FACE



Vitesse de vol \sim Morphologie + Conditions environnementales

- Vitesse et direction du vent

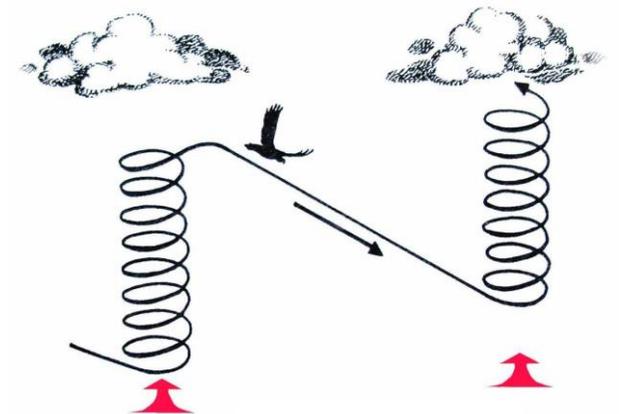
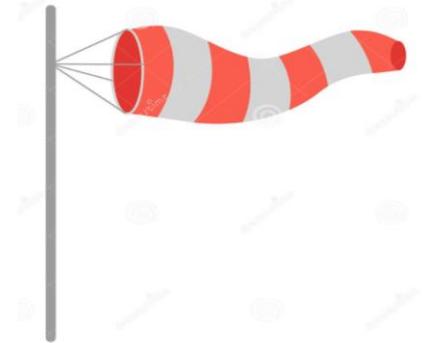
⇔ Si l'oiseau vole vent arrière, sa vitesse relative au sol augmente; et inversement

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 ~ 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



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

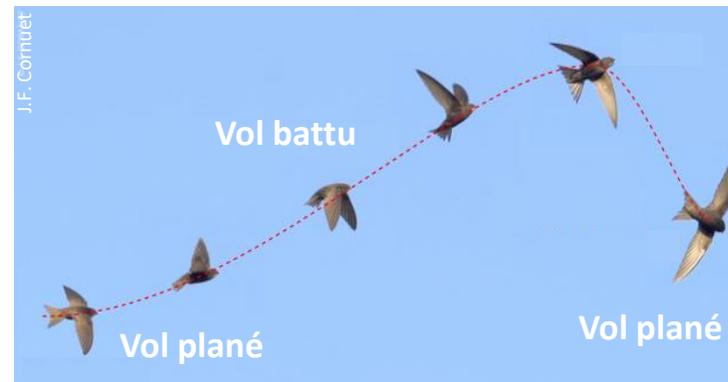
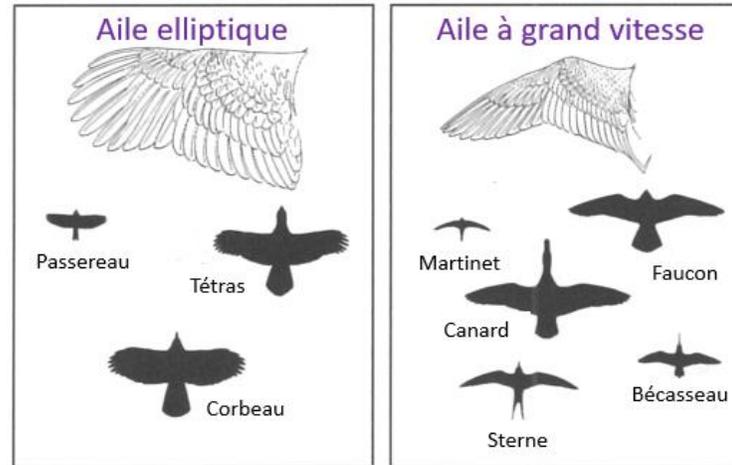
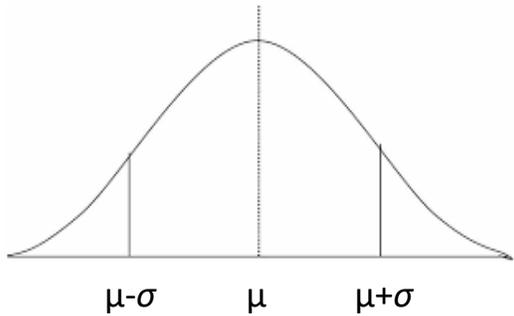
⇔ Vitesse élevée pour atteindre rapidement le site de reproduction



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

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

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

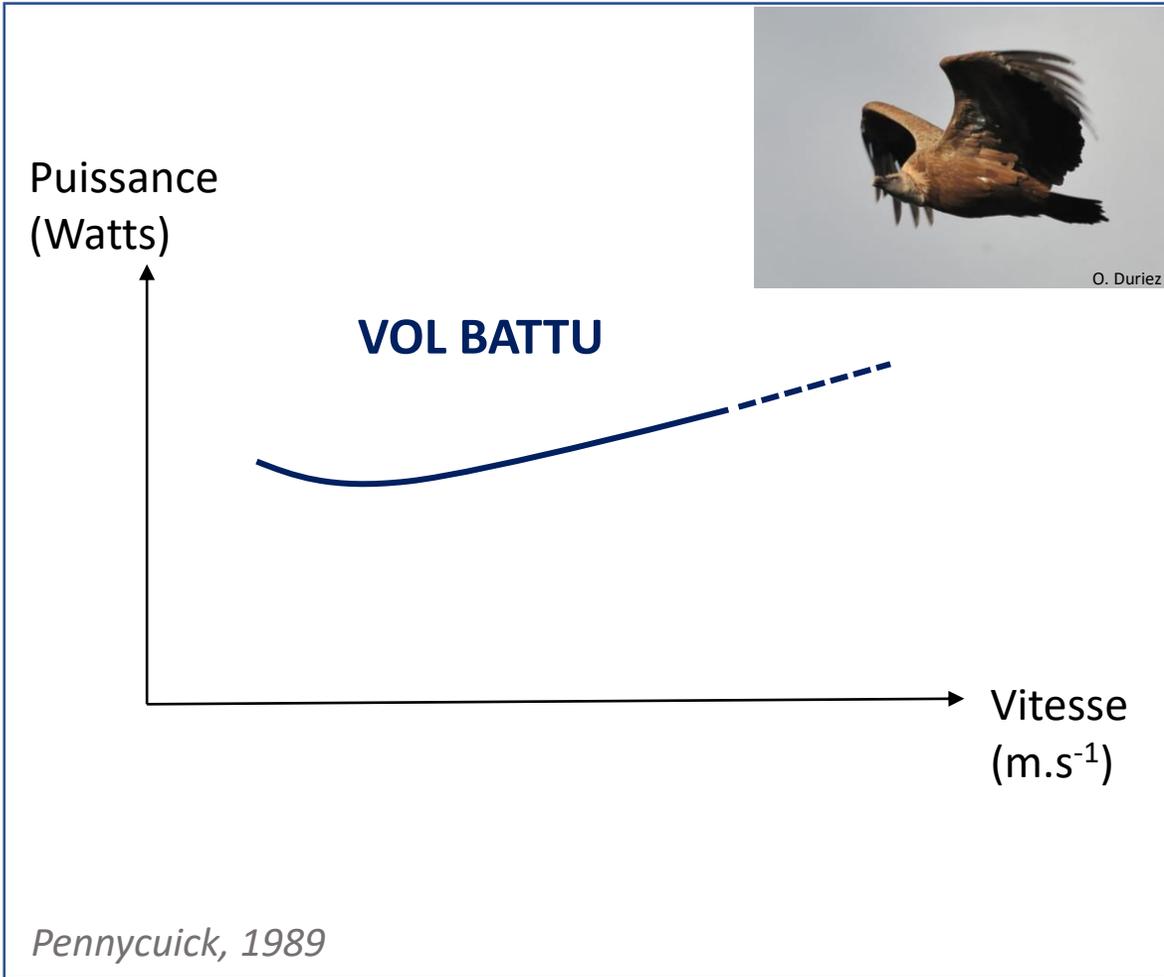
MESURER les vitesses de vol des oiseaux

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

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

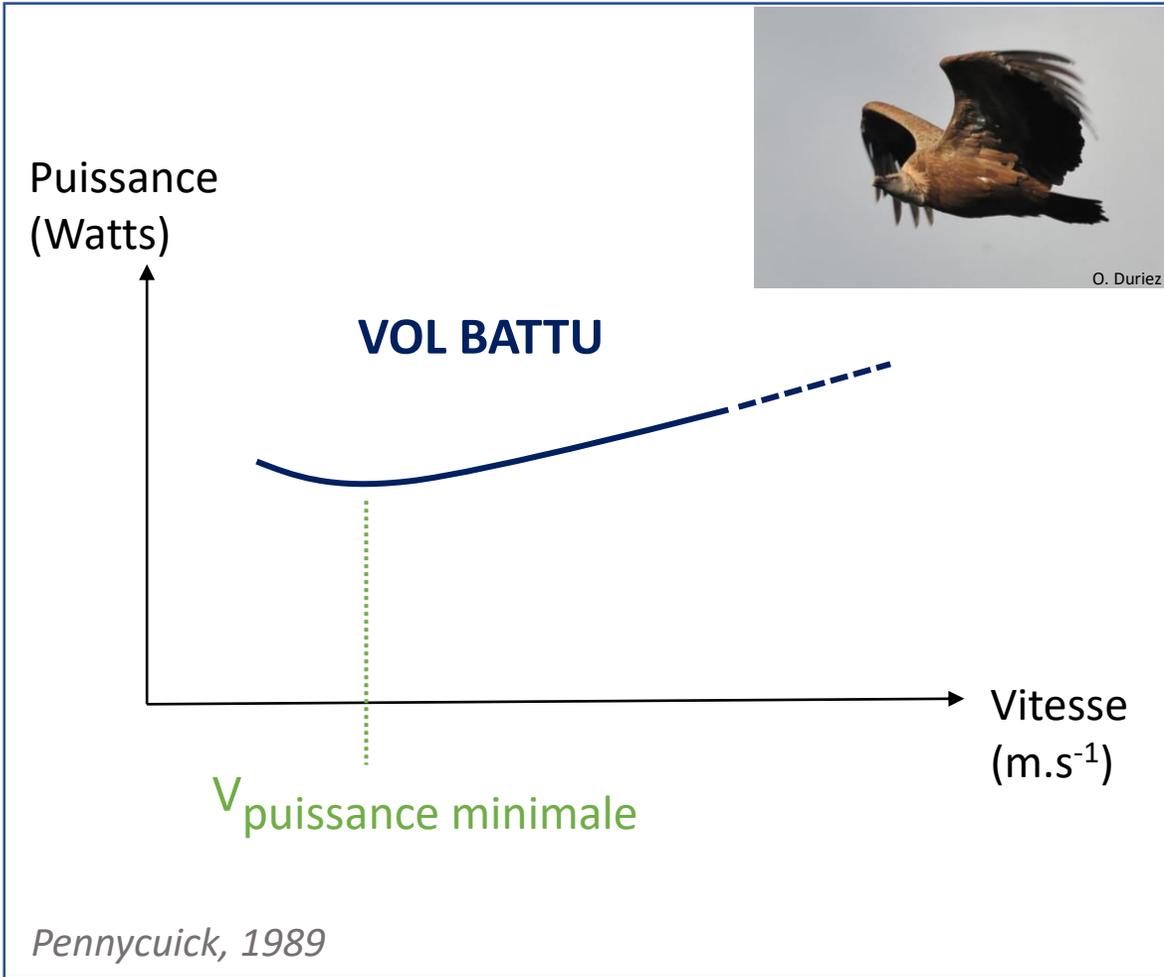
Bridge et al. 2011; Sherub et al. 2017; Largey et al. 2021

PRÉDIRE les vitesses de vol des oiseaux: théories aérodynamiques



Vitesse prédite ~ Masse + Allongement des ailes

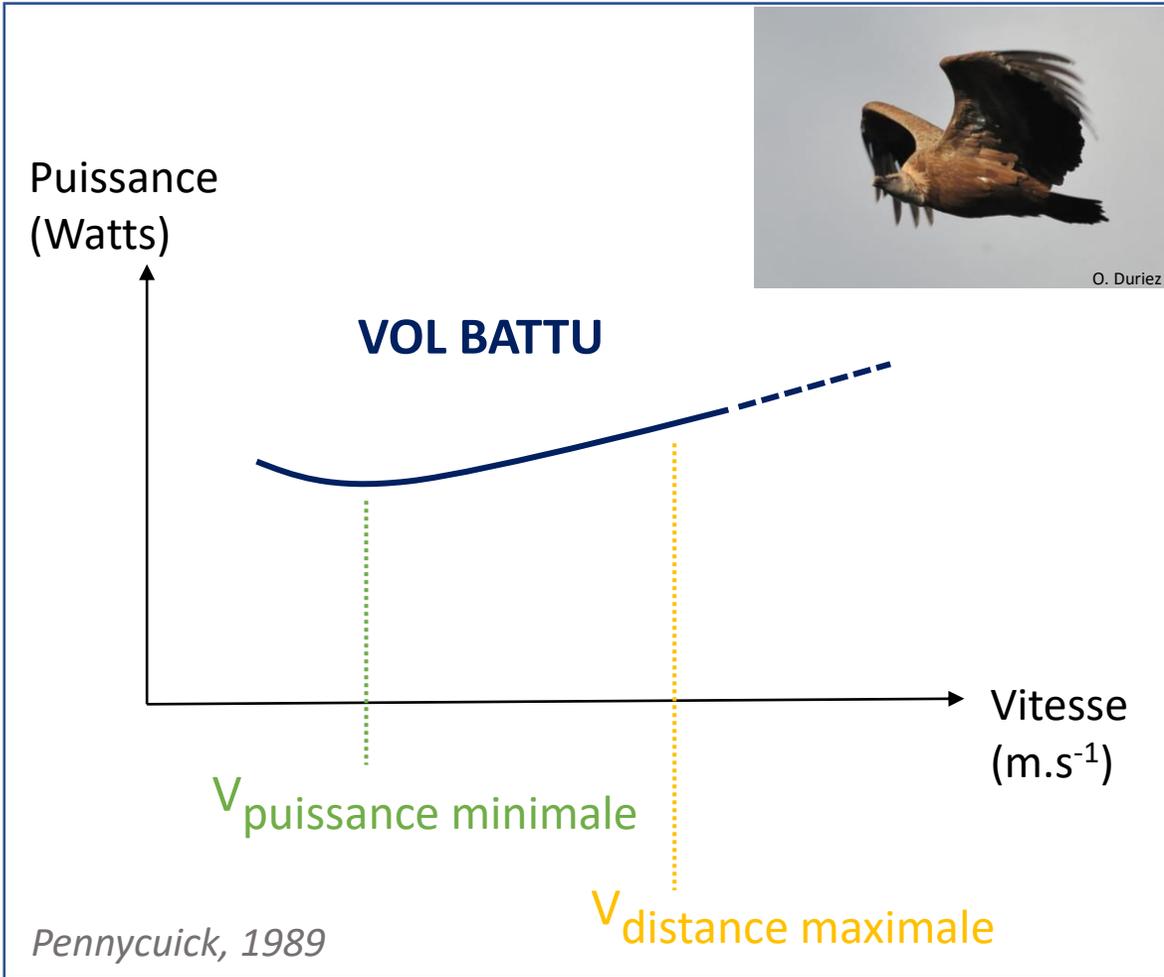
PRÉDIRE les vitesses de vol des oiseaux: théories aérodynamiques



Exemple du Vautour fauve:

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

PRÉDIRE les vitesses de vol des oiseaux: théories aérodynamiques

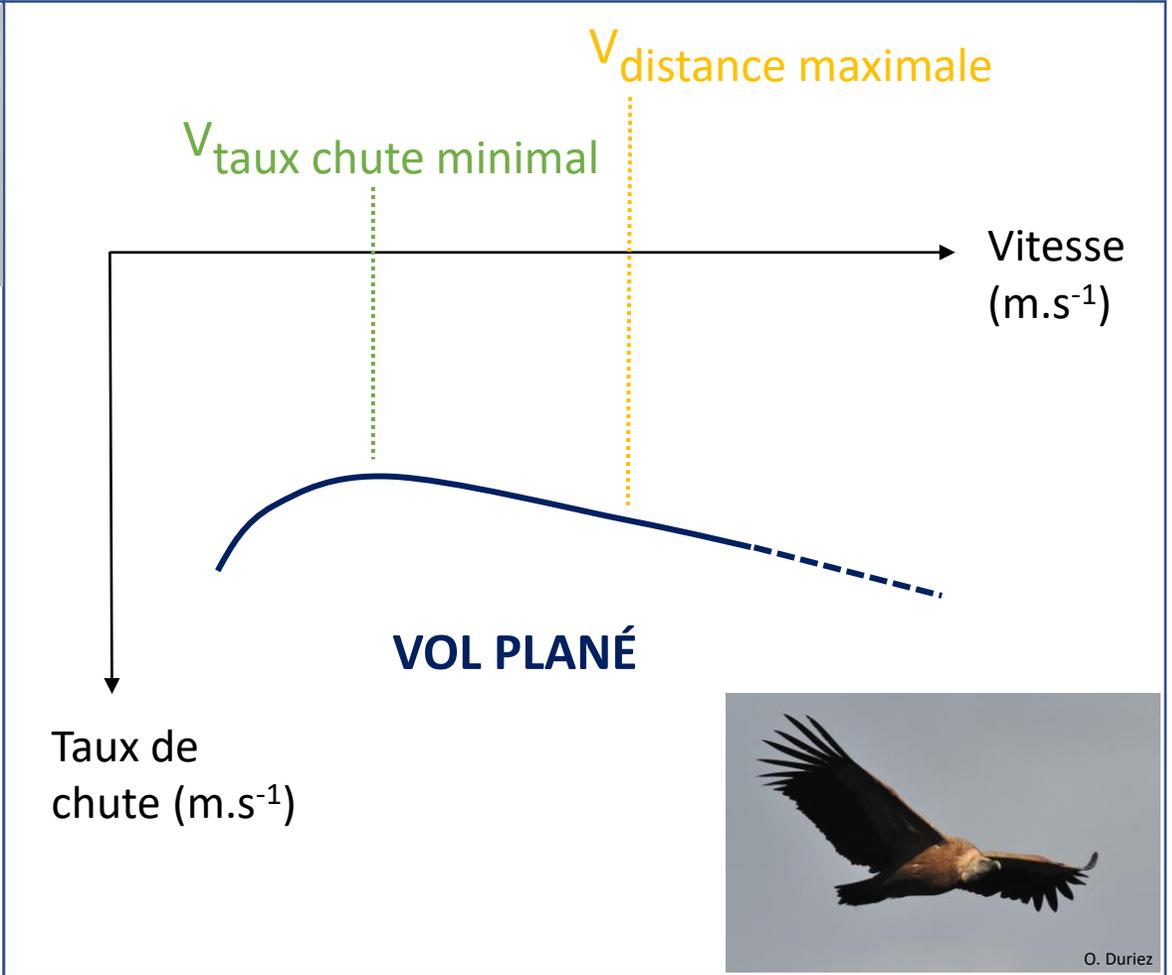
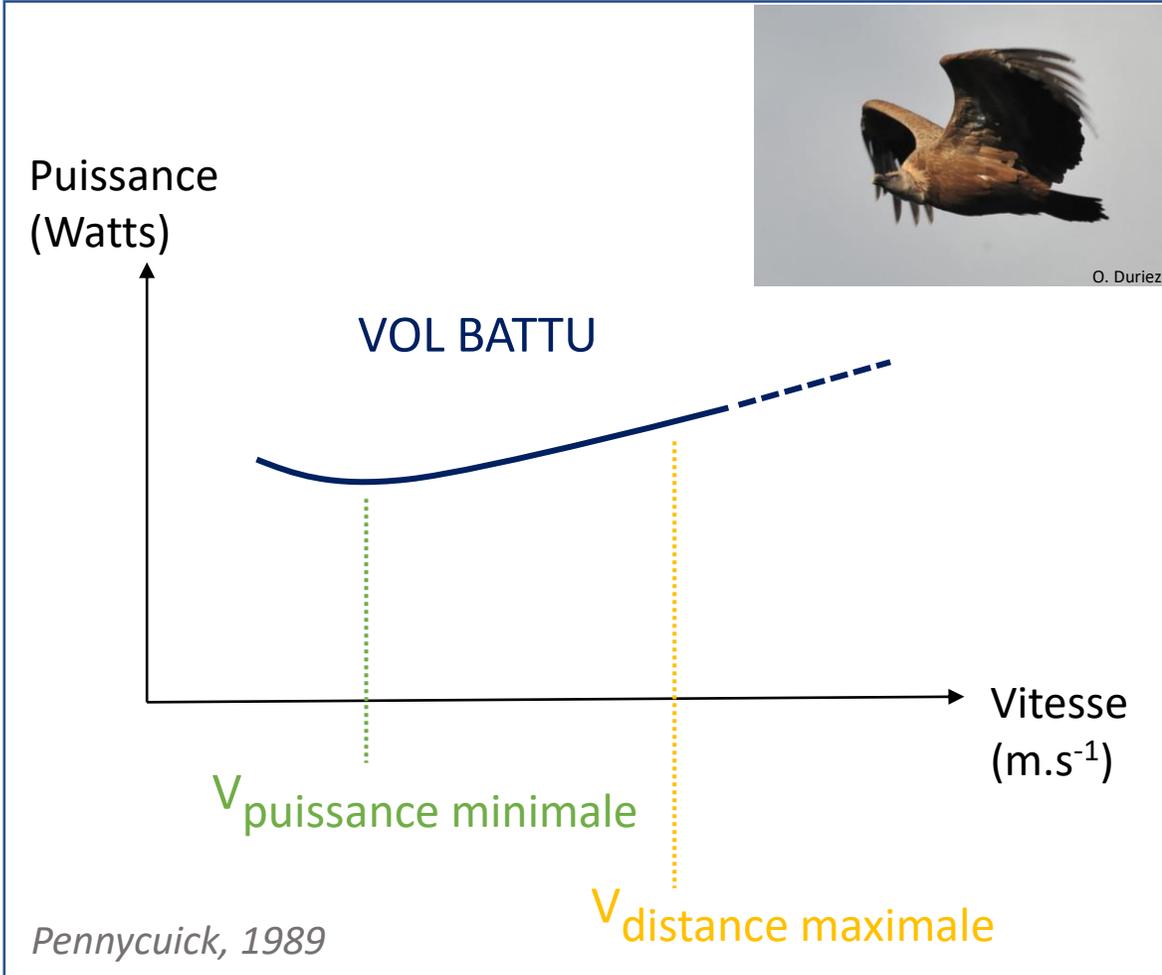


Exemple du Vautour fauve:

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

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

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

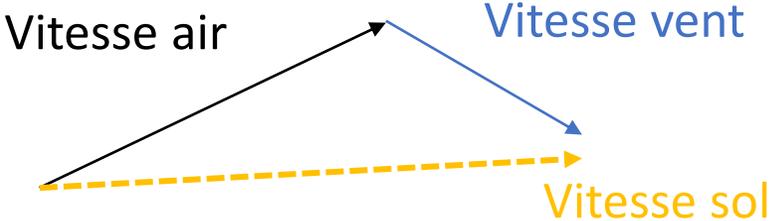
VARIABILITÉ des vitesses de vol mesurées

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



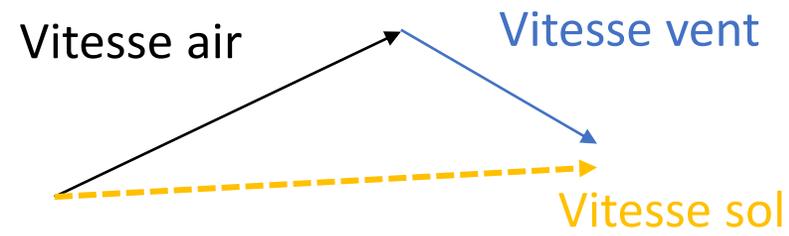
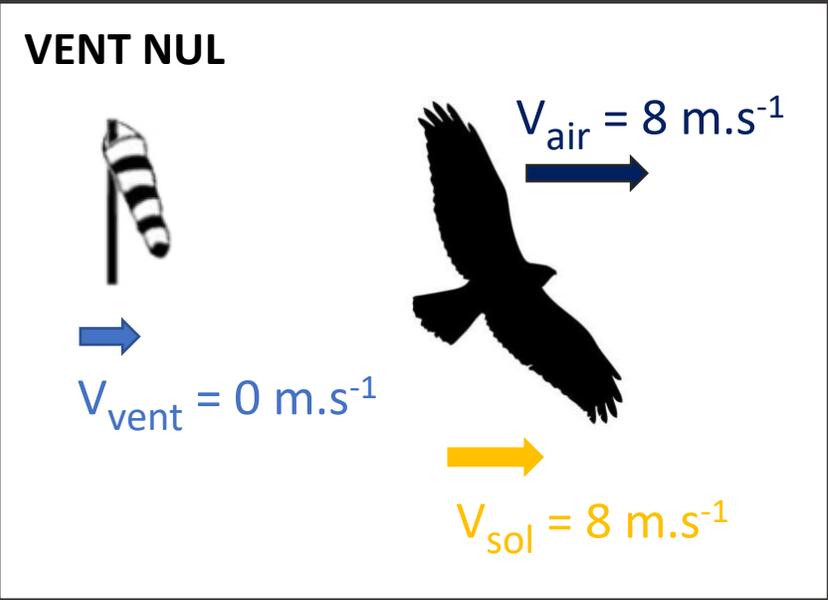
VARIABILITÉ des vitesses de vol mesurées

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



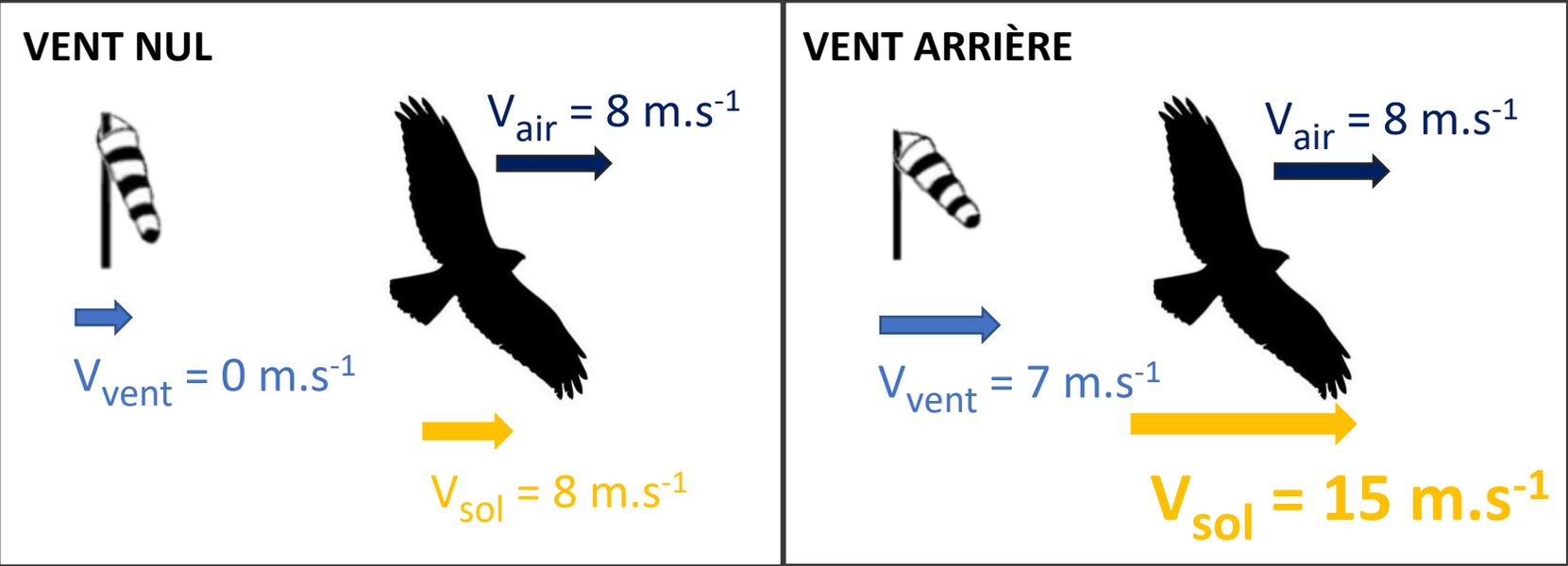
VARIABILITÉ des vitesses de vol mesurées

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



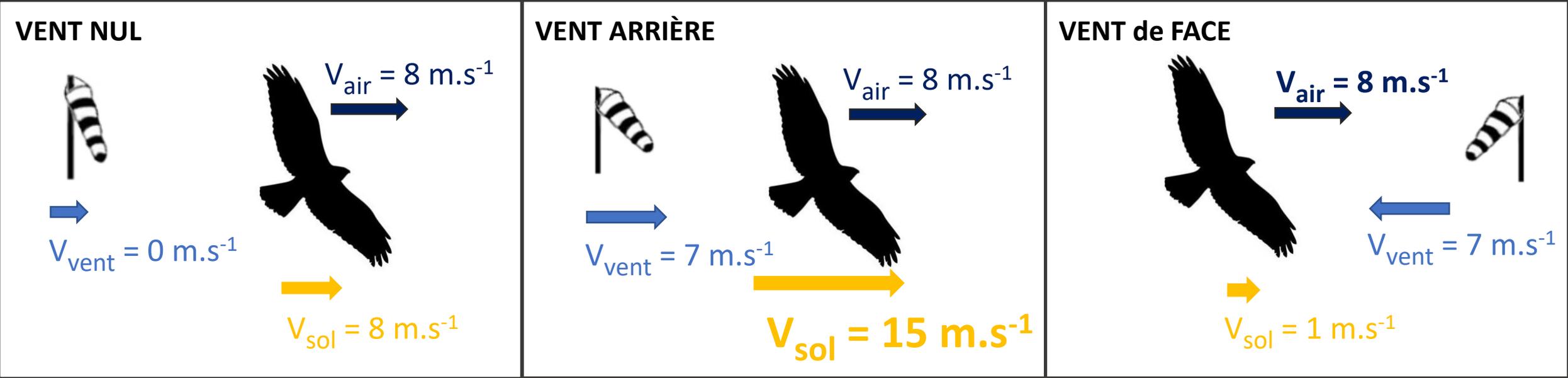
VARIABILITÉ des vitesses de vol mesurées

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



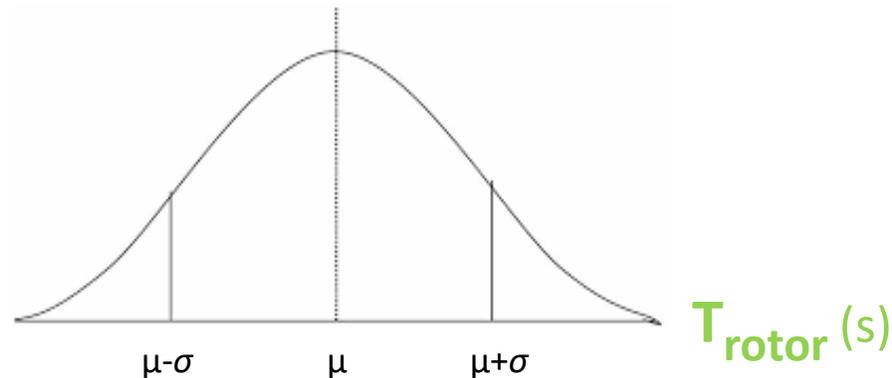
Etat d'avancement de mon travail

Etat d'avancement de mon travail : T_{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_{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

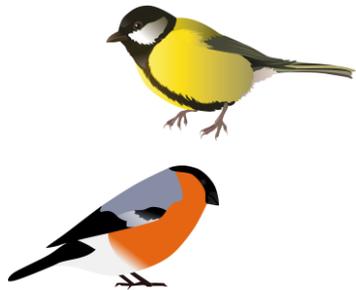
Etat d'avancement de mon travail : **Vitesses de vol**

1) Recherche bibliographique

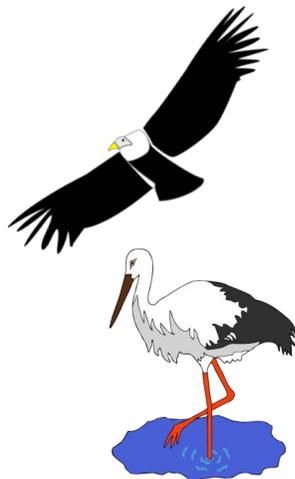
- **Etudes « suivi radar »**: recueil des vitesses de vol de **180 espèces européennes, en migration ++**

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

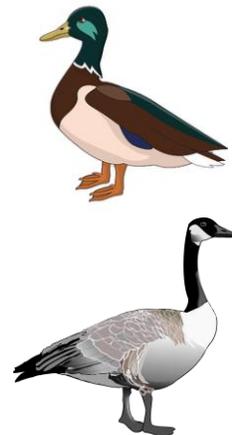
27%



17%



14%



11%



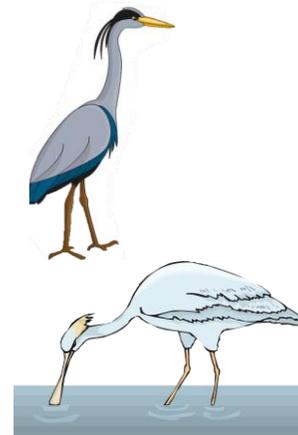
9%



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

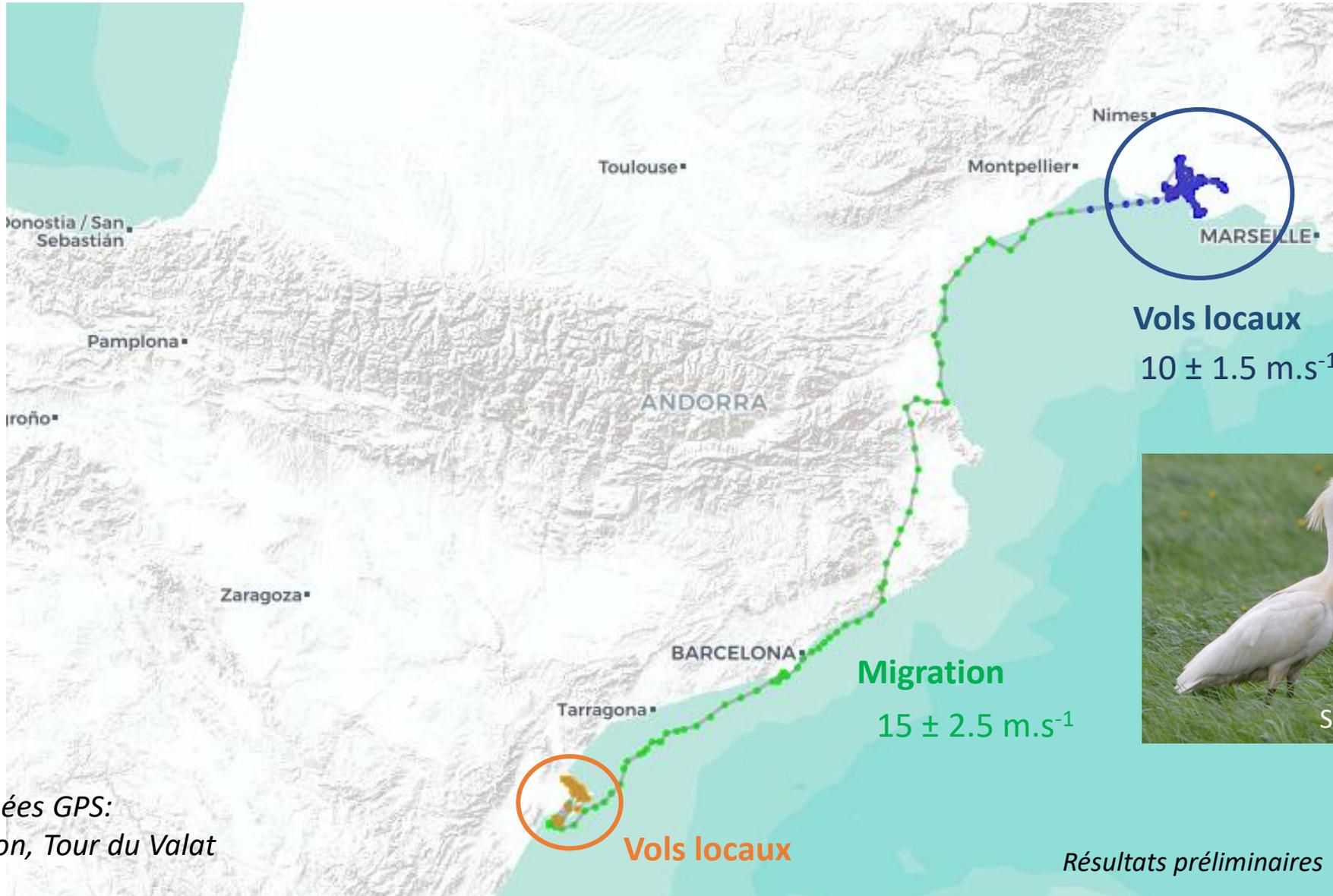
- **Etudes « suivi radar »**: recueil des vitesses de vol de **180 espèces européennes**, en **migration ++**

- 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⁻¹) du Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*)



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

Vitesses de vol (en m.s⁻¹) du Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*)



Source	Type de suivi	Type de vol	Vitesse air (m.s ⁻¹) (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⁻¹) du Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*)



Source	Type de suivi	Type de vol	Vitesse air (m.s ⁻¹) (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

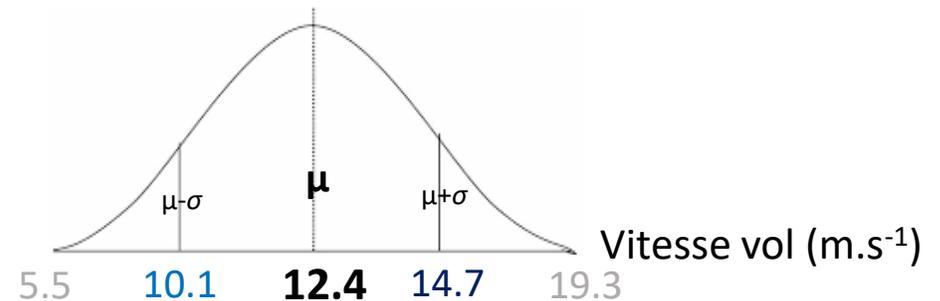
Vitesses de vol (en m.s⁻¹) du Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*)



Source	Type de suivi	Type de vol	Vitesse air (m.s ⁻¹) (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

Vitesse moyenne **mini** = **11.1 ± 1.3 m.s⁻¹**

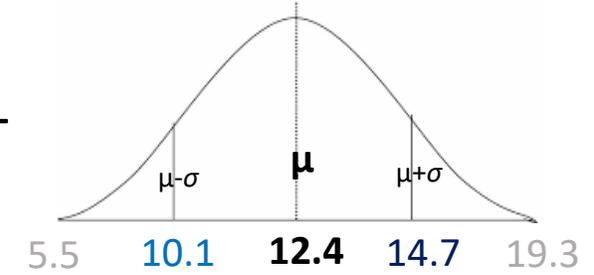
Vitesse moyenne **maxi** = **13.7 ± 2.6 m.s⁻¹**



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



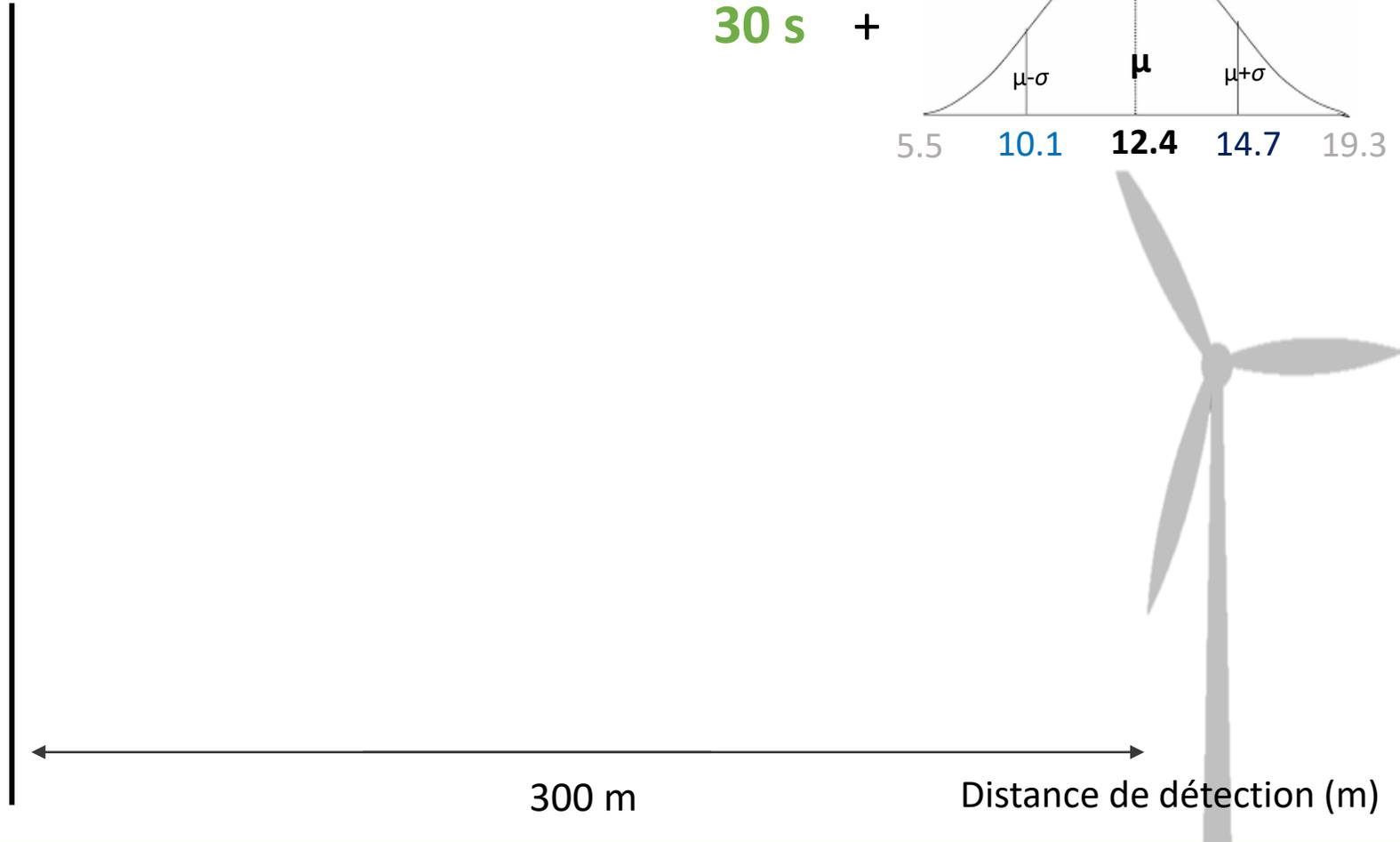
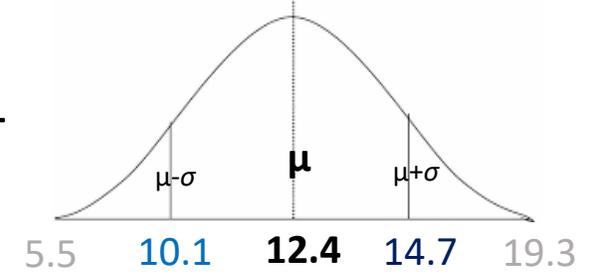
30 s +



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



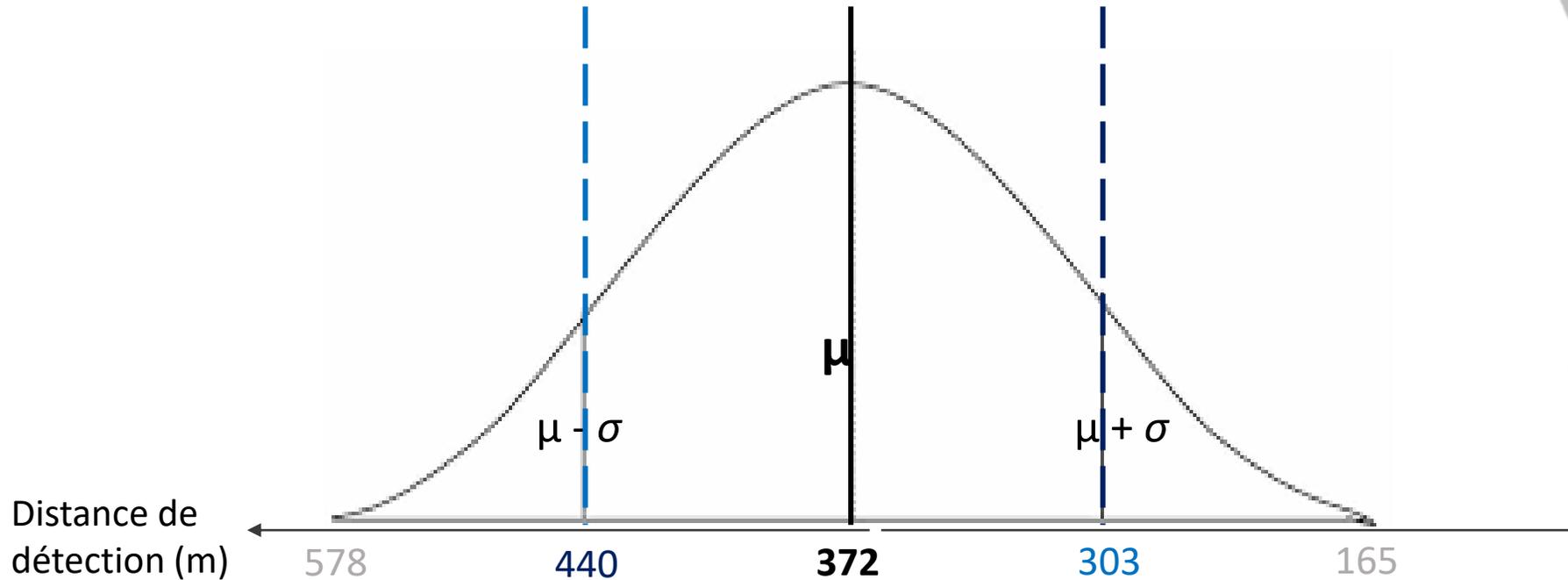
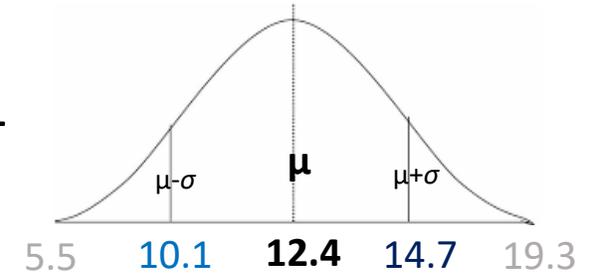
30 s +



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



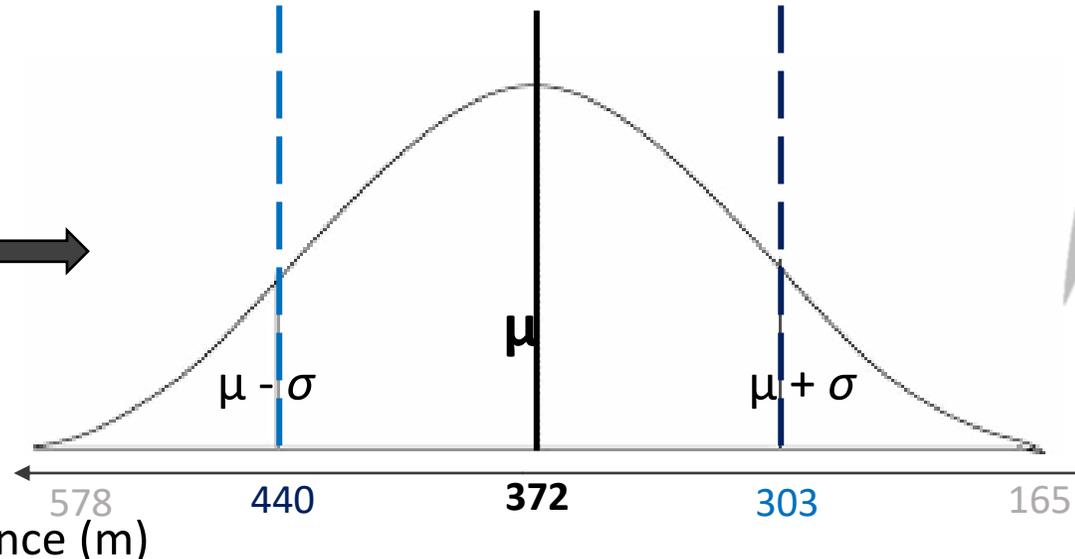
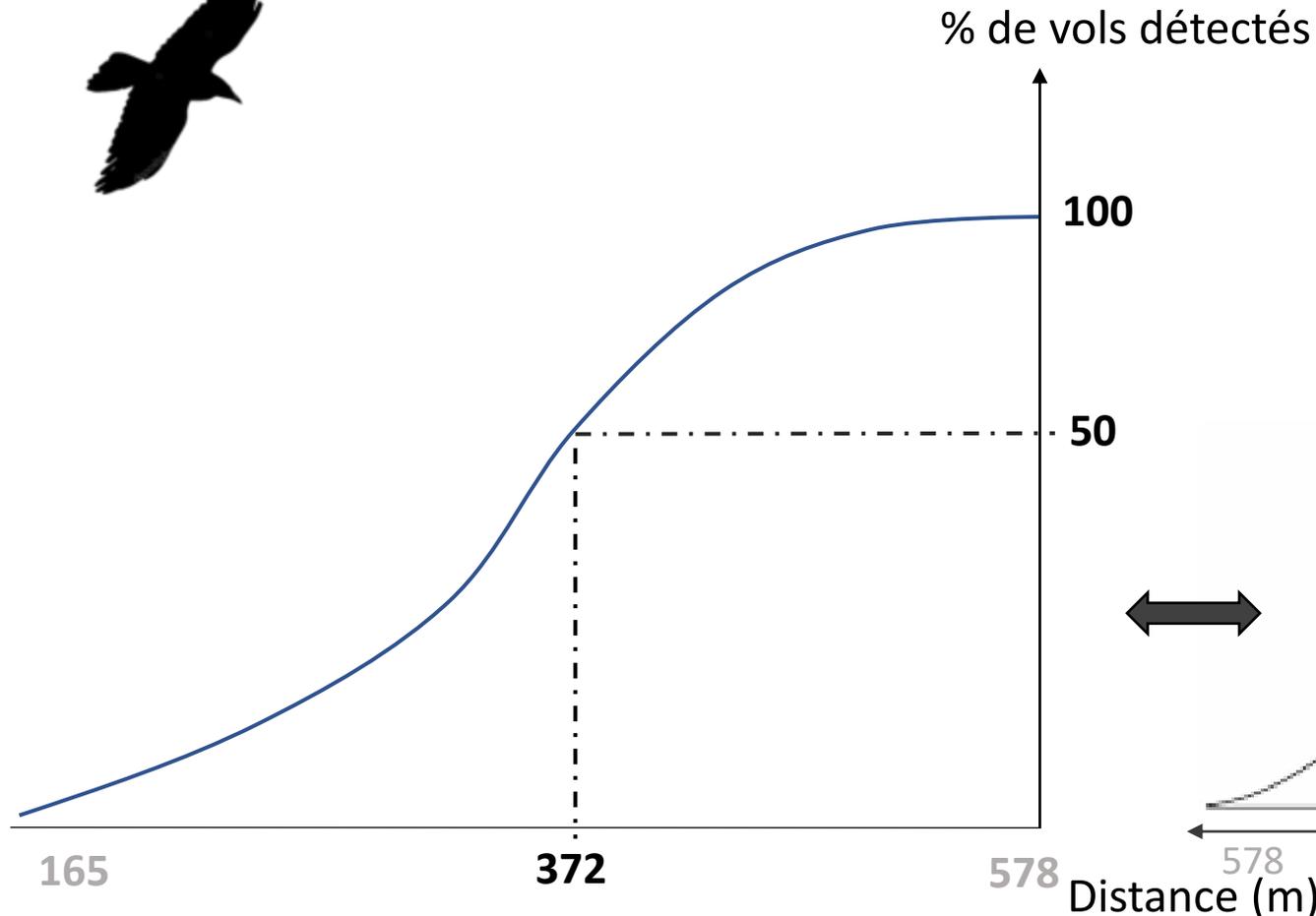
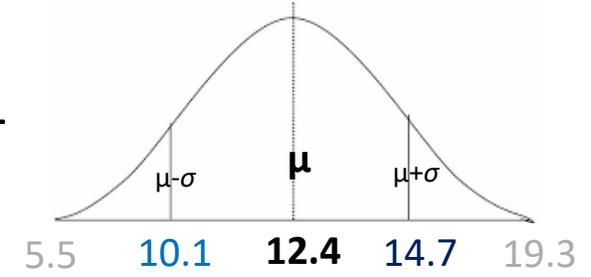
30 s +



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

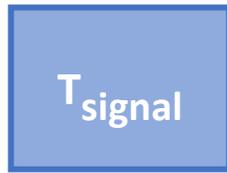
Utilisateurs: BE, exploitants éoliens, turbiniers, DREAL

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



~ Système détection

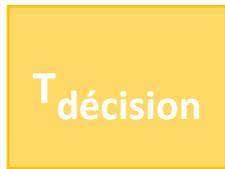
~ Modèle turbine



A saisir par utilisateur

Création d'une application web

E
N
T
R
É
E



~ Système détection

~ Modèle turbine

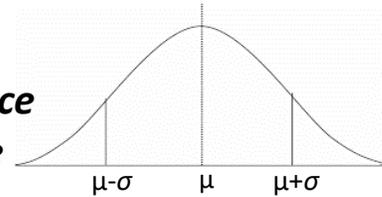
~ Modèle turbine + V_{vent}



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_{signal}

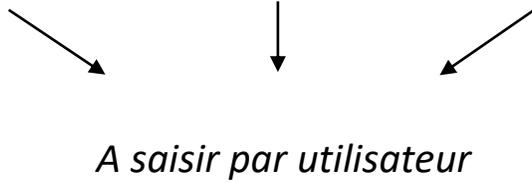
L_{rotor}

T_{rotor}

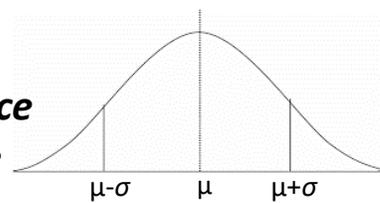
~ Système détection

~ Modèle turbine

~ Modèle turbine + V_{vent}



Pré-paramétré grâce
à notre protocole

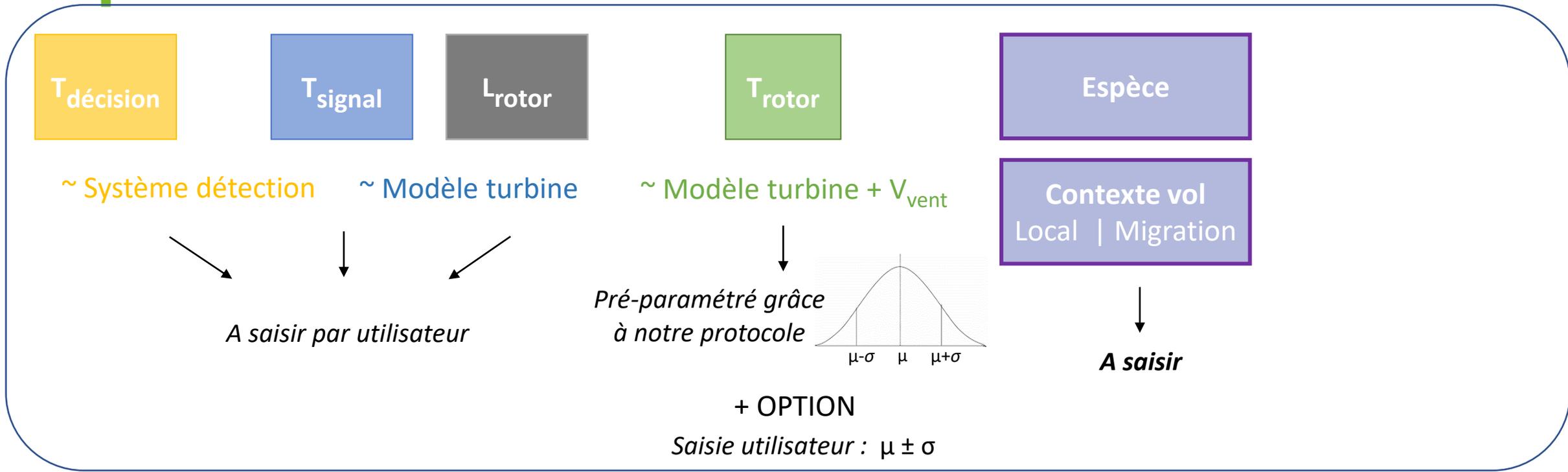


+ OPTION

Saisie utilisateur : $\mu \pm \sigma$

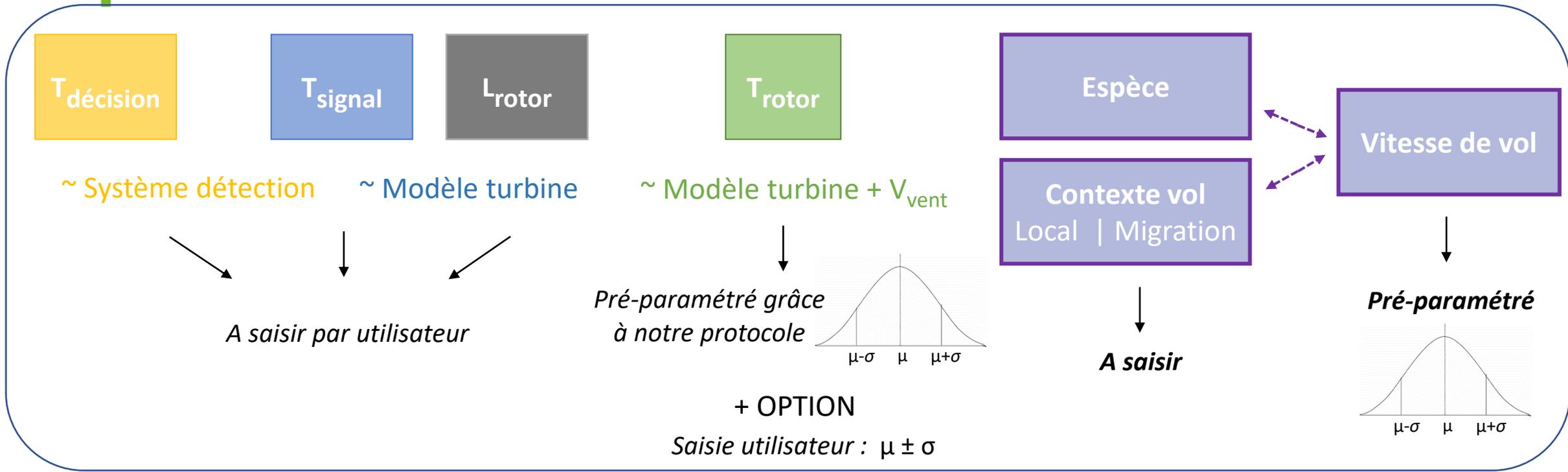
Création d'une application web

E
N
T
R
É
E



Création d'une application web

ENTRÉE



Création d'une application web

ENTRÉE

$T_{\text{décision}}$

T_{signal}

L_{rotor}

T_{rotor}

Espèce

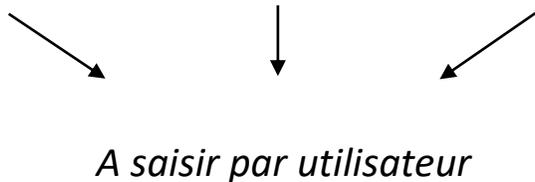
Contexte vol
Local | Migration

Vitesse de vol

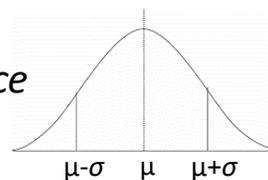
~ Système détection

~ Modèle turbine

~ Modèle turbine + V_{vent}



Pré-paramétré grâce
à notre protocole

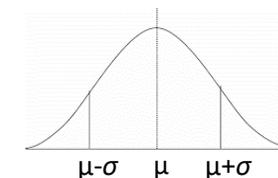


+ OPTION

Saisie utilisateur : $\mu \pm \sigma$

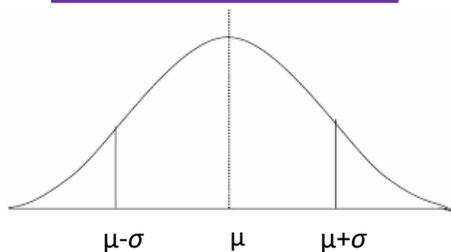
A saisir

Pré-paramétré



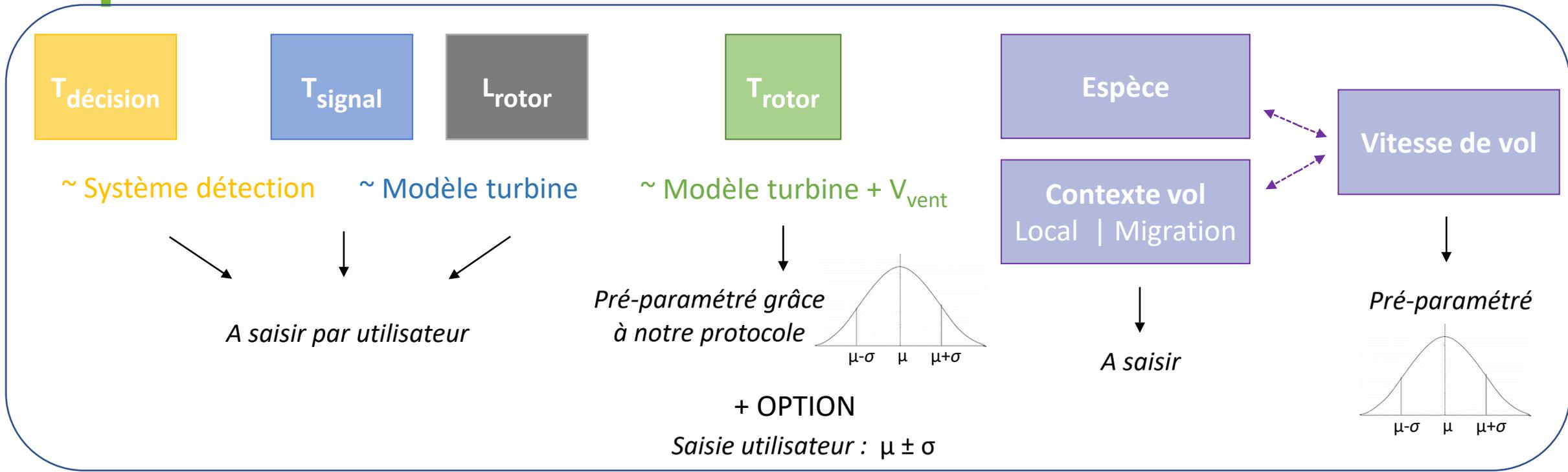
SORTIE

Vitesse de vol



Création d'une application web

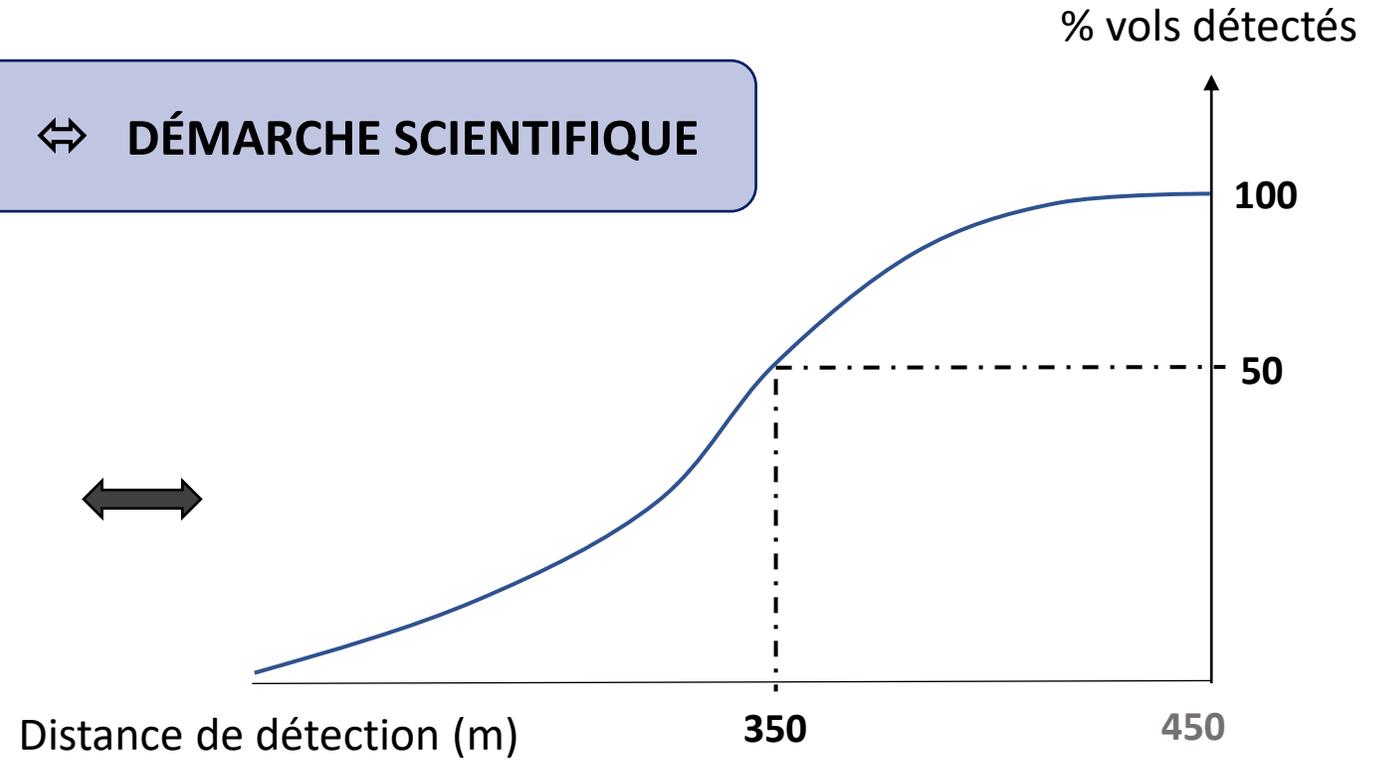
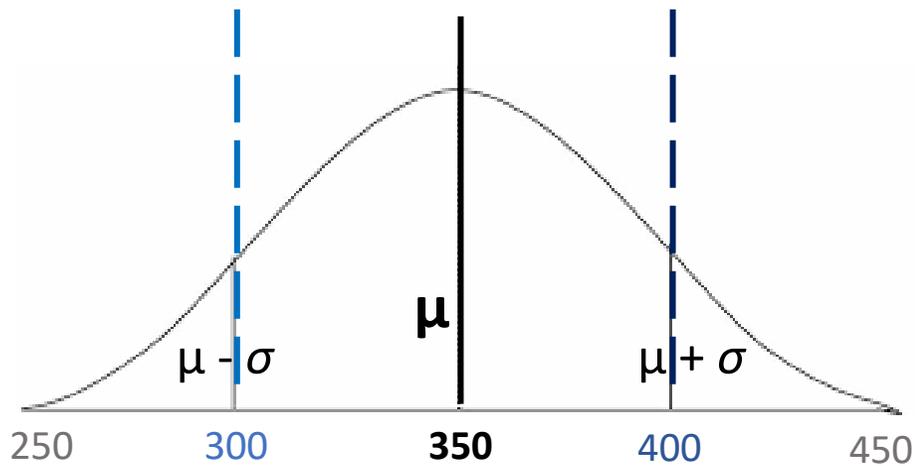
ENTRÉE



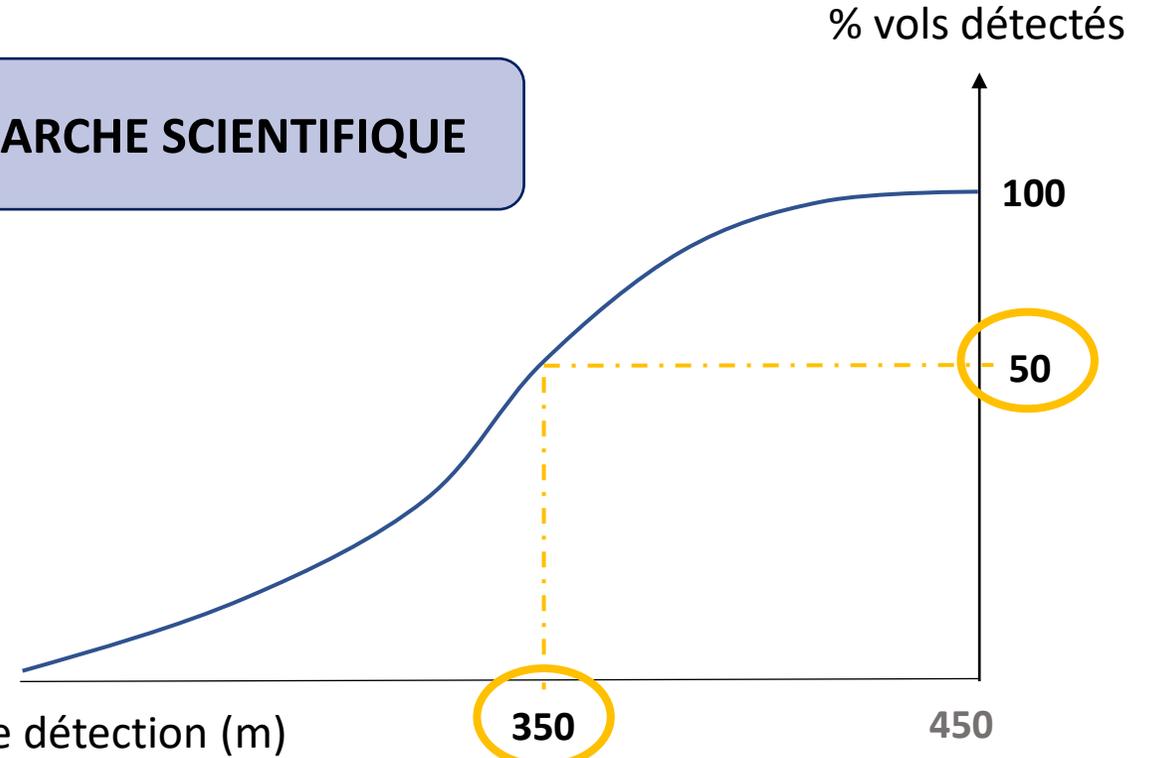
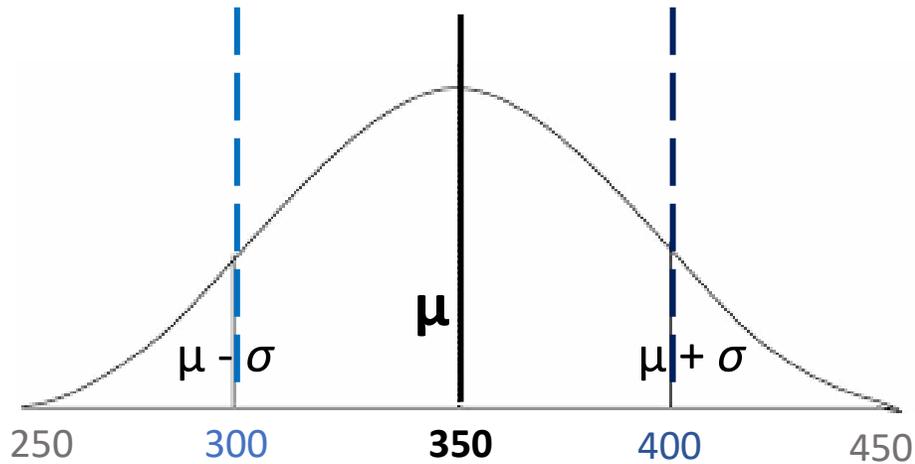
SORTIE



Proposition d'un outil pour INFORMER ⇔ DÉMARCHE SCIENTIFIQUE



Proposition d'un outil pour INFORMER ⇔ DÉMARCHE SCIENTIFIQUE



CHOIX des distances de détection ⇔ DÉCISION SOCIÉTALE / POLITIQUE

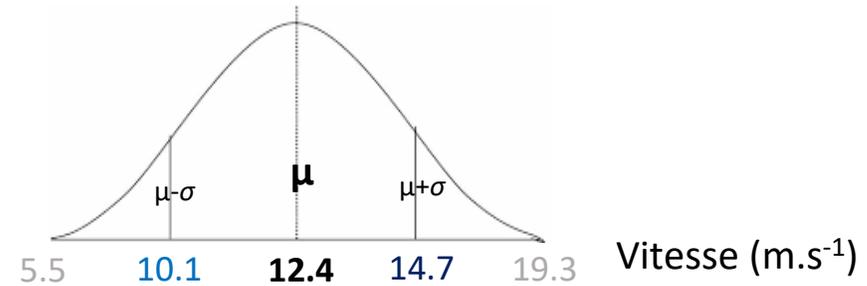
Merci de votre attention !



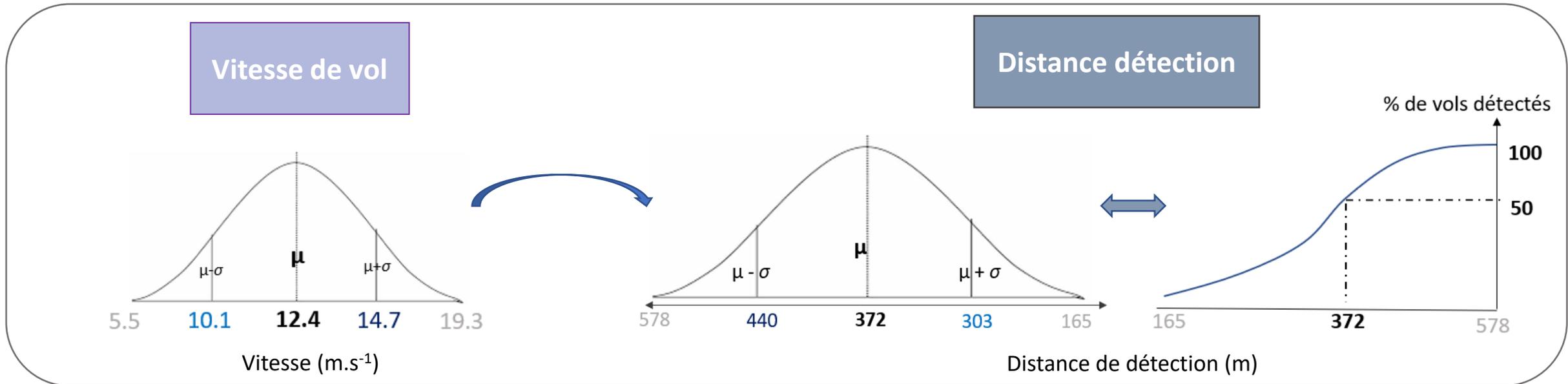
WP3 R3: déterminer les distances de détection minimales des oiseaux

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

➤ Distribution des vitesses de vol de l'espèce cible

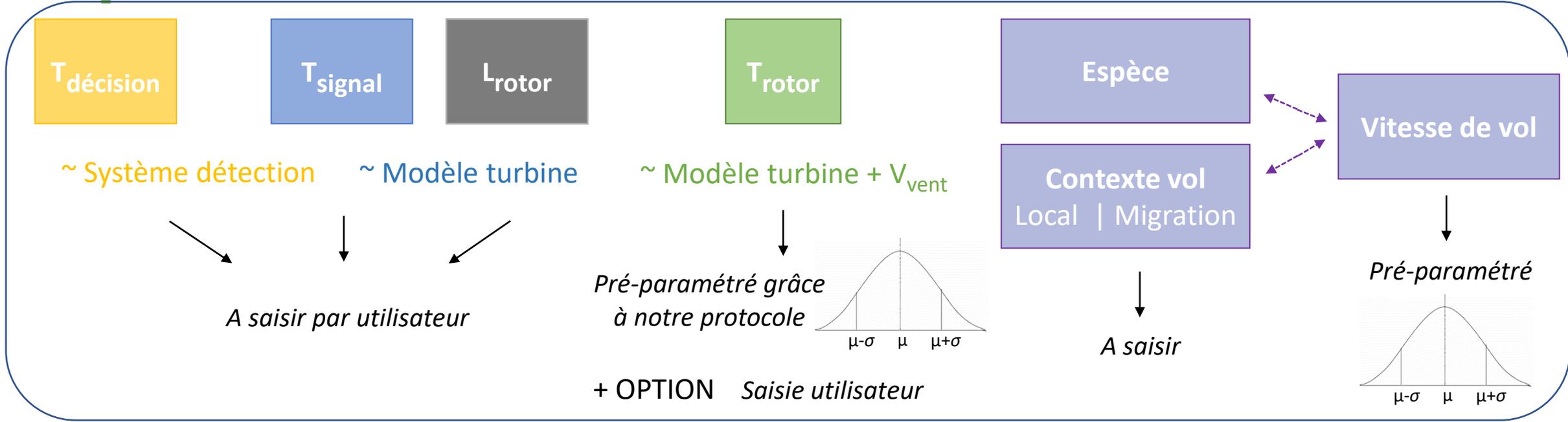


➤ Application web

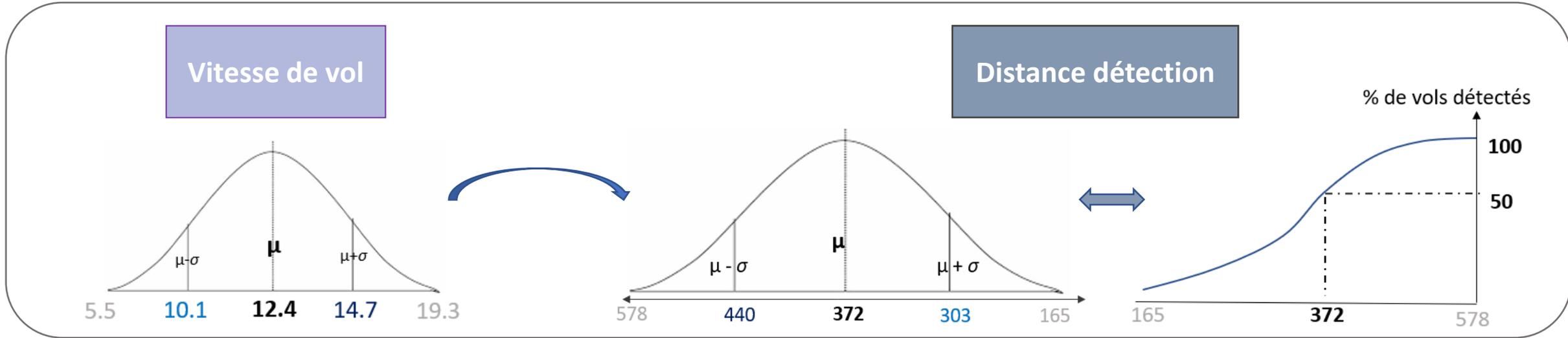


Application web proposée

ENTRÉE



SORTIE



L'application web

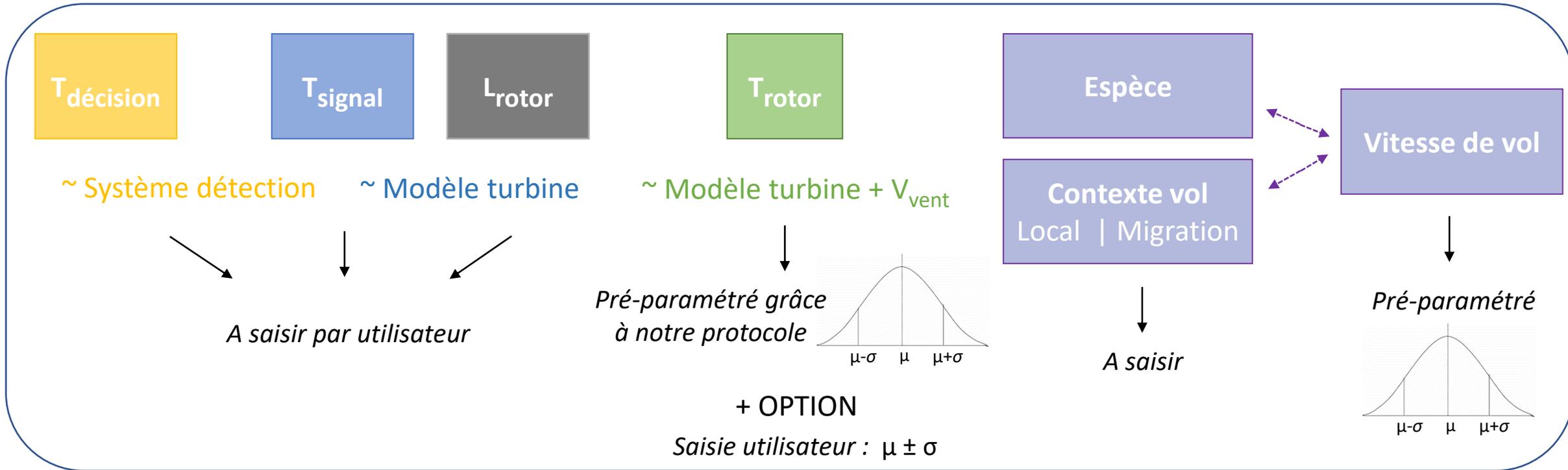


➤ Quelles sont vos attentes?



➤ Que pensez-vous des paramètres en entrée ?

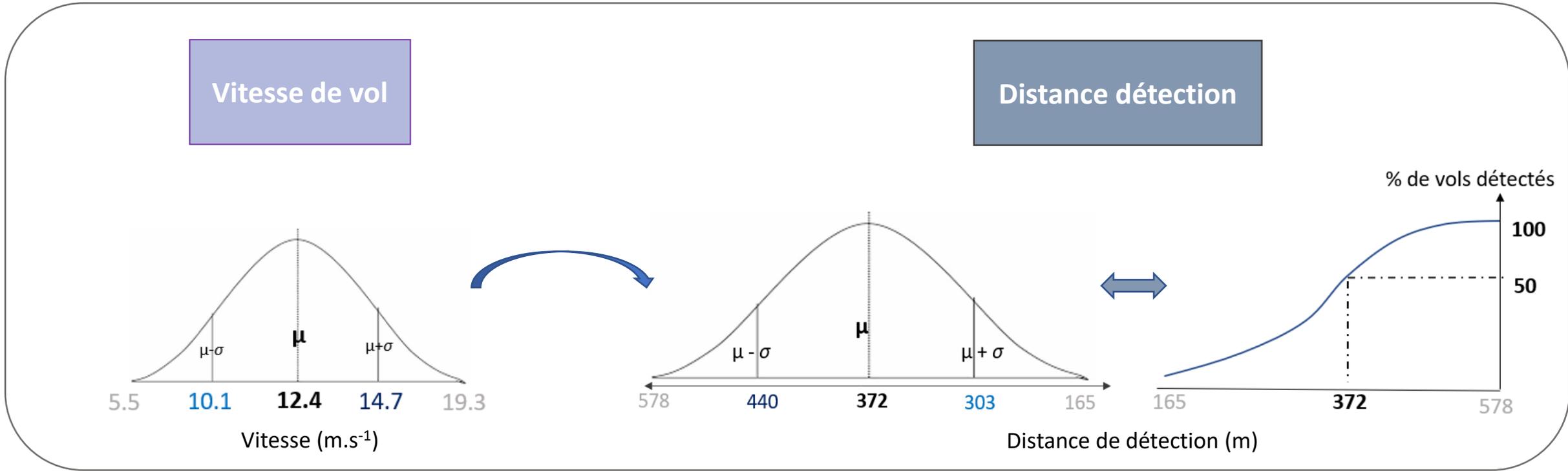
ENTRÉE





➤ 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_{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

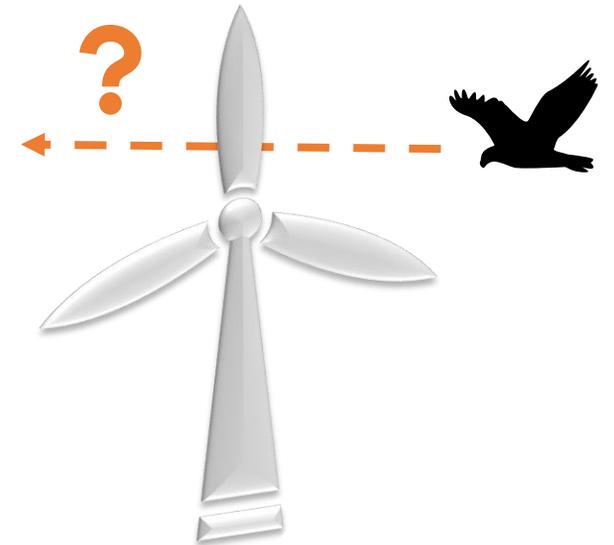
Vision du contraste



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 ≈ 1 rpm





Déplacement horizontal

Vol plané

Vol battu

Vol stationnaire
avec/sans déplacement vertical



Distance parcourue
& Vitesse relative au sol

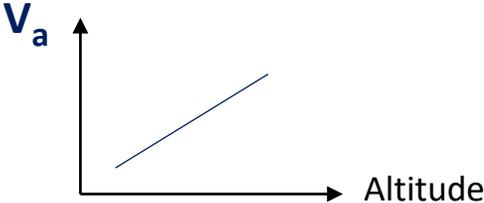
+ à +++

± 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)
- } $EqV_a < V_a$



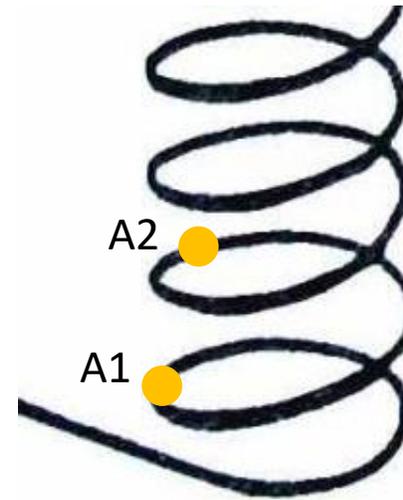
VARIABILITÉ des vitesses de vol mesurées

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

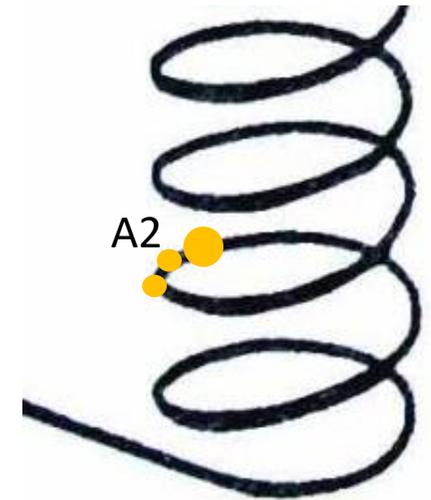
- Vitesse air 'classique' (V_a)
- Vitesse air recalculée au niveau de la mer (EqV_a)

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 ⁻¹) (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 ⁻¹) (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⁻¹) du Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*)

Source	Type de suivi	Type de vol	Vitesse air (m.s ⁻¹) (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

`rnorm(N, μ=12.5, σ=1.7)`

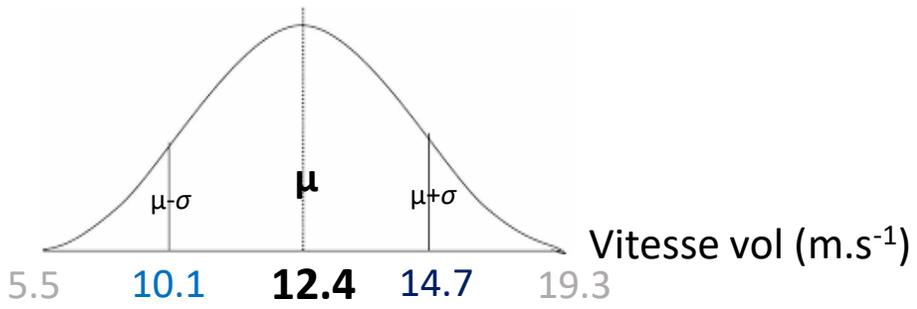
`rnorm(N, μ=11.1, σ=1.3)`

`rnorm(N, μ=11.4, σ=1.6)`

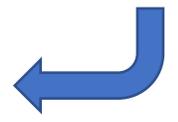
`rnorm(N, μ=13.3, σ=2.7)`

`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^{ème} 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

Workpackages Projet MAPE

➤ **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

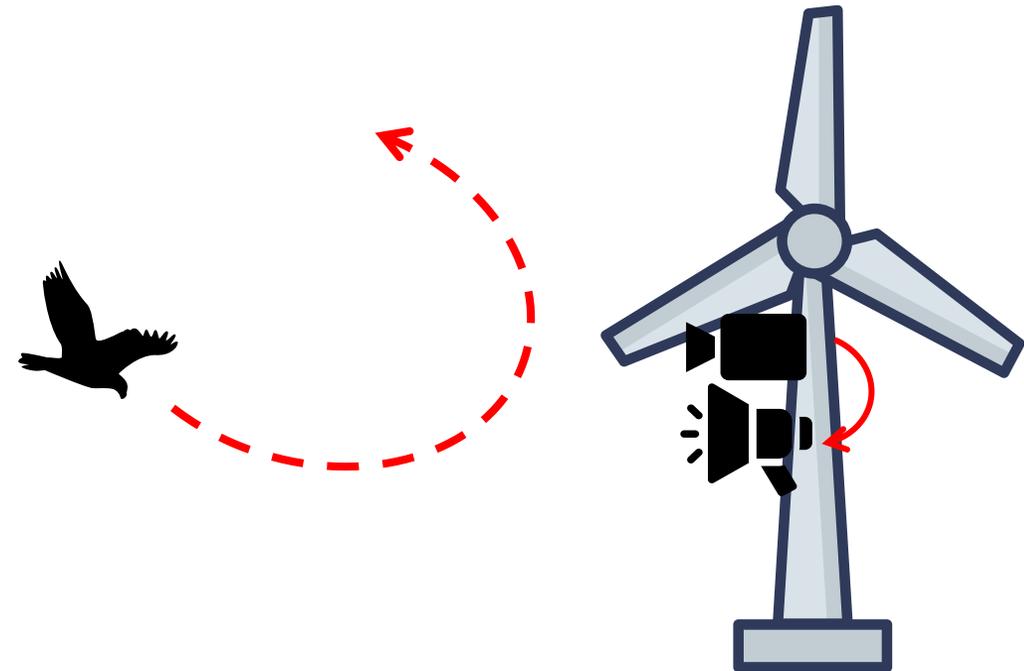
**Volet
Protocole**

WP4 : Evaluer les dispositifs de détection actuels

Réduire la mortalité aviaire

3 solutions :

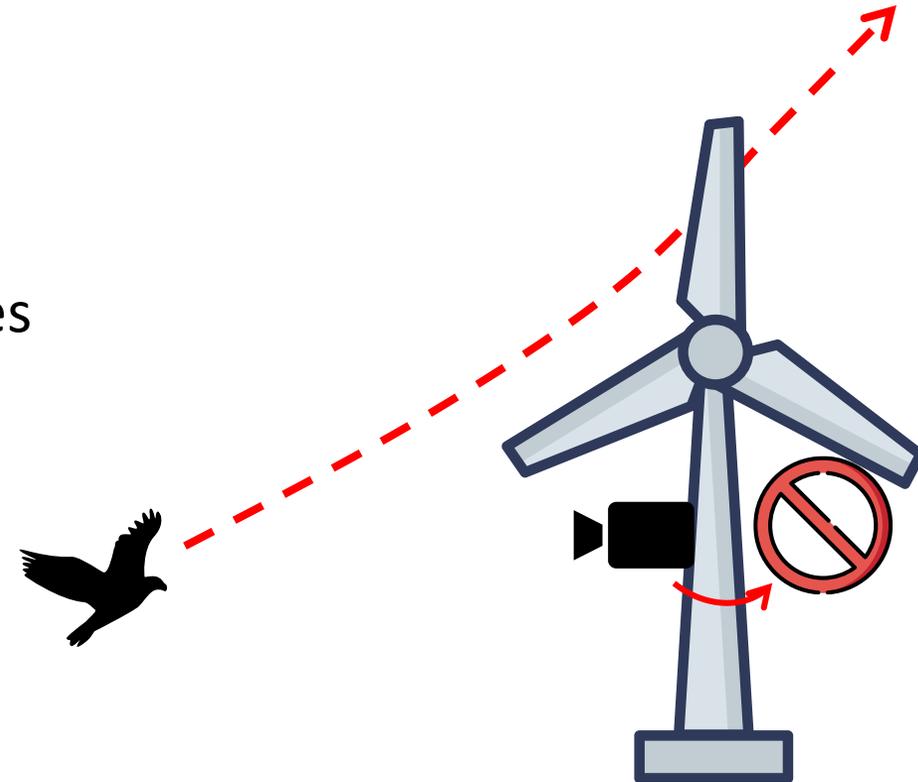
- Repousser l'oiseau (effarouchement)



Réduire la mortalité aviaire

3 solutions :

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

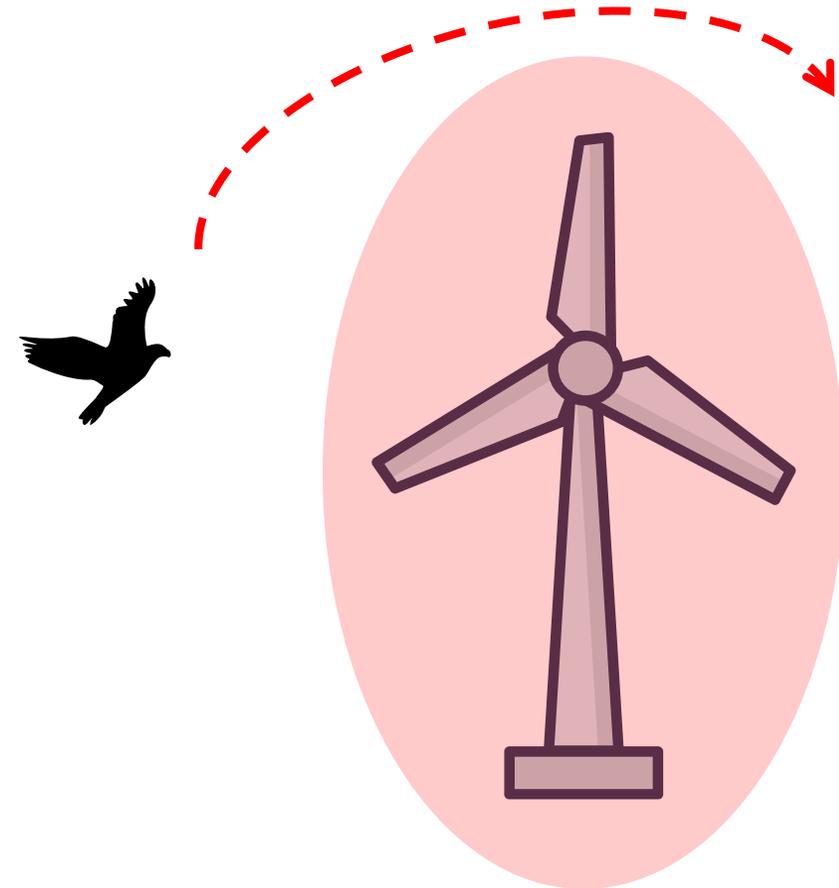


Réduire la mortalité aviaire

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 :

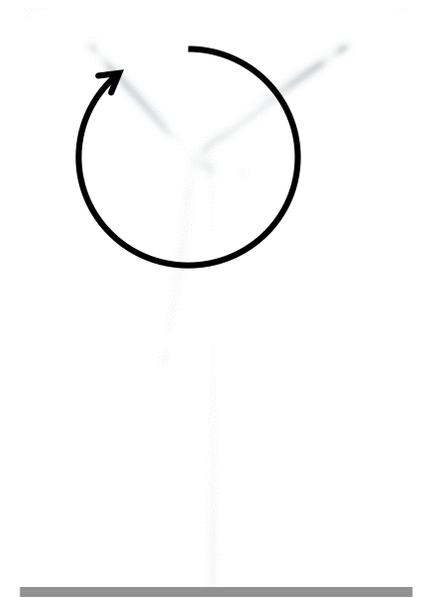
- Acuité visuelle
- Contraste
- Mouvement rotatif



Origine des collisions ?

Si l'oiseau ne distingue pas les éoliennes :

- Acuité visuelle
- Contraste
- Mouvement rotatif



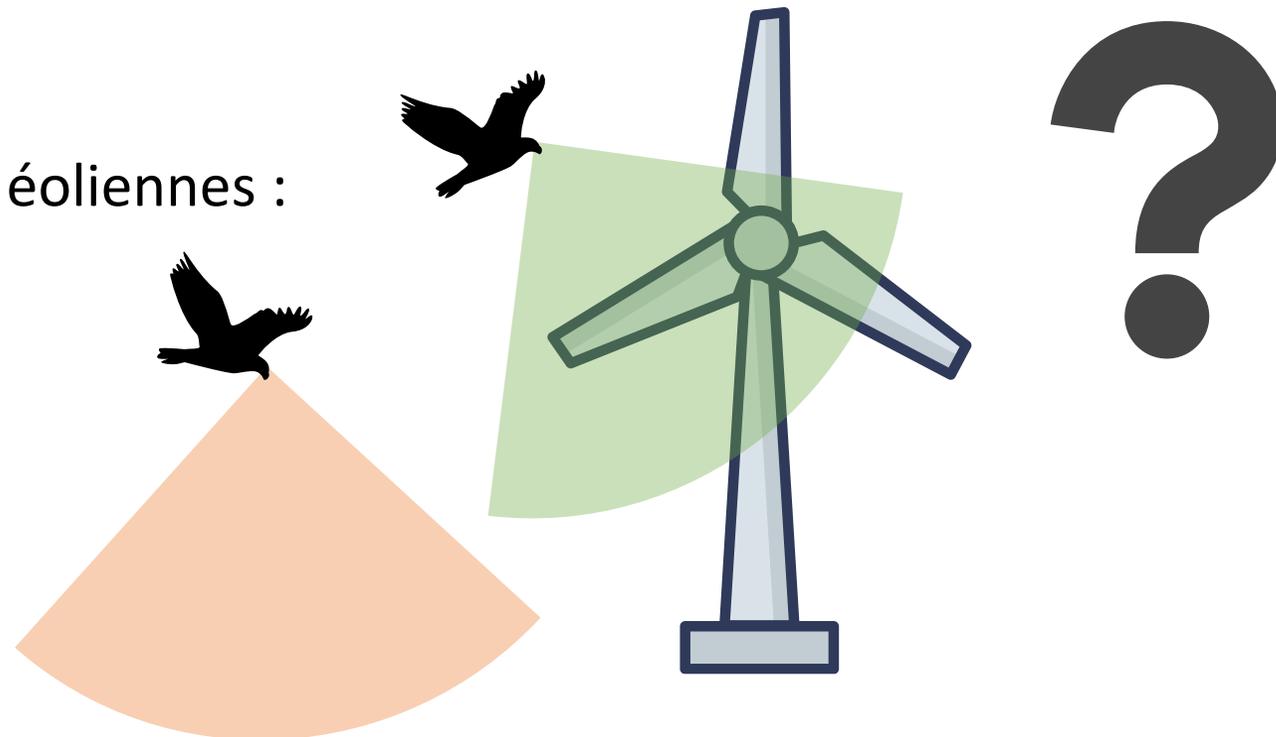
Origine des collisions ?

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 :

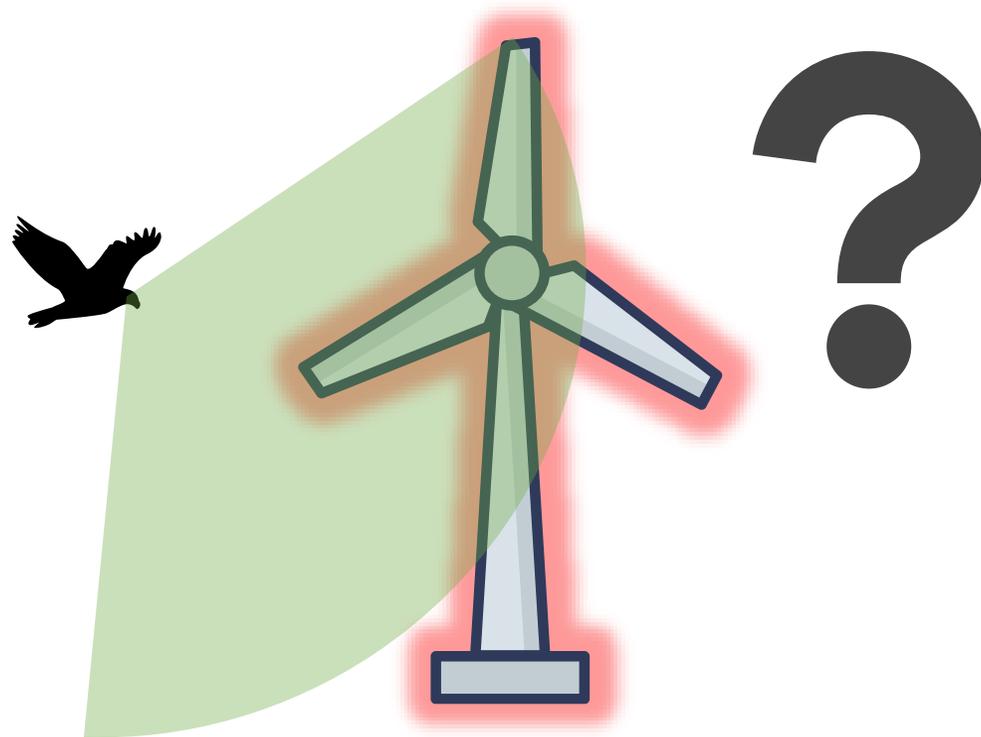
- Acuité visuelle
- Contraste
- Mouvement rotatif

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 :

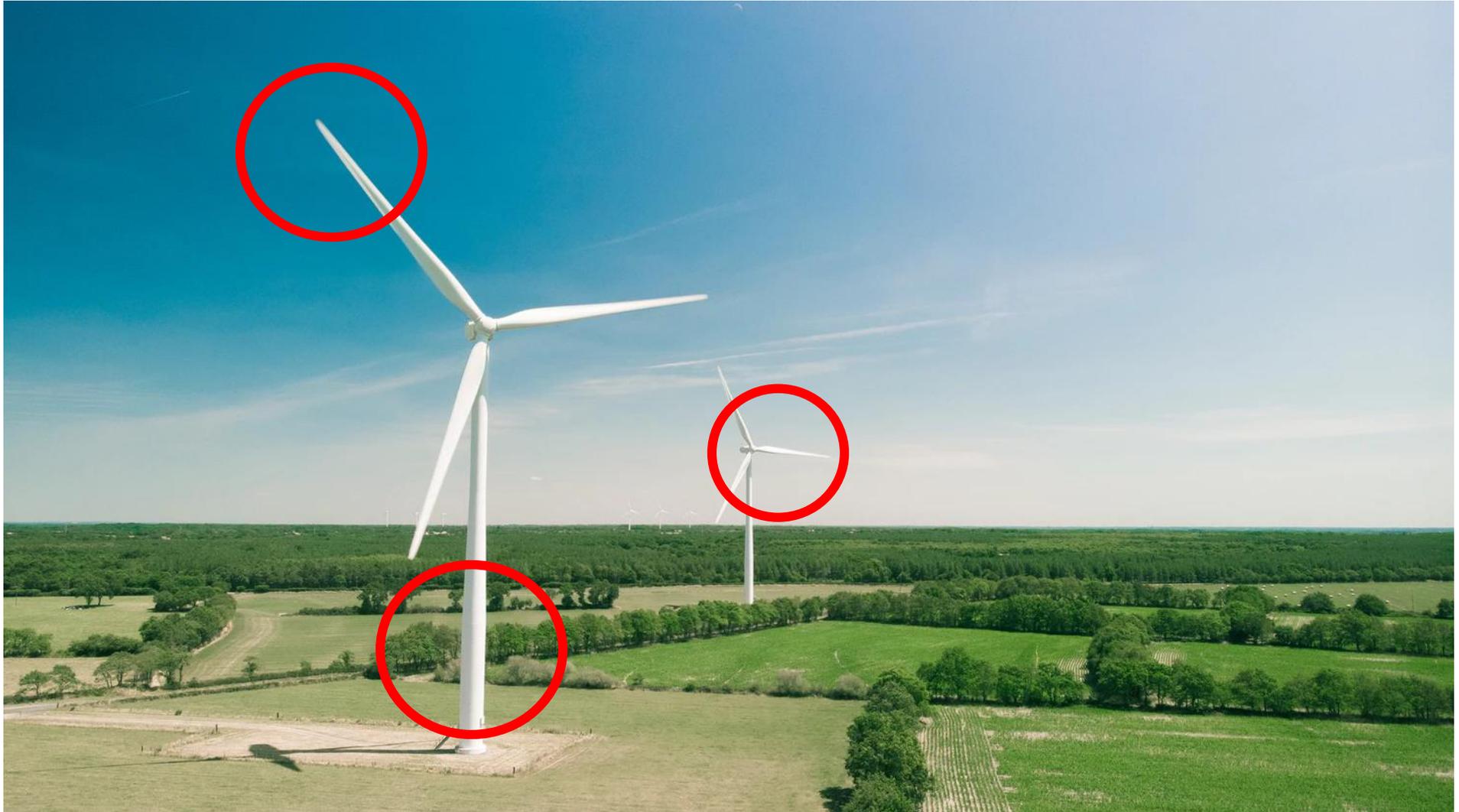
- Champs de vision
- Comportement

Si l'oiseau n'évite pas les éoliennes :

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









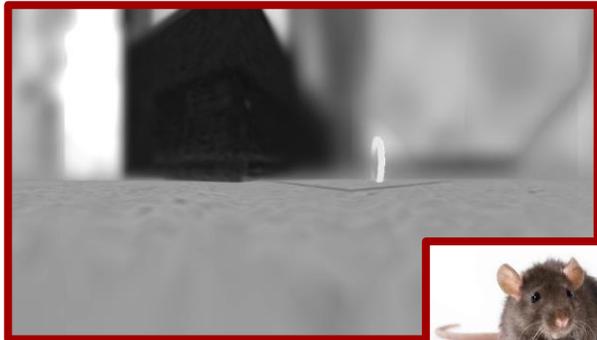
Perception de l'environnement



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

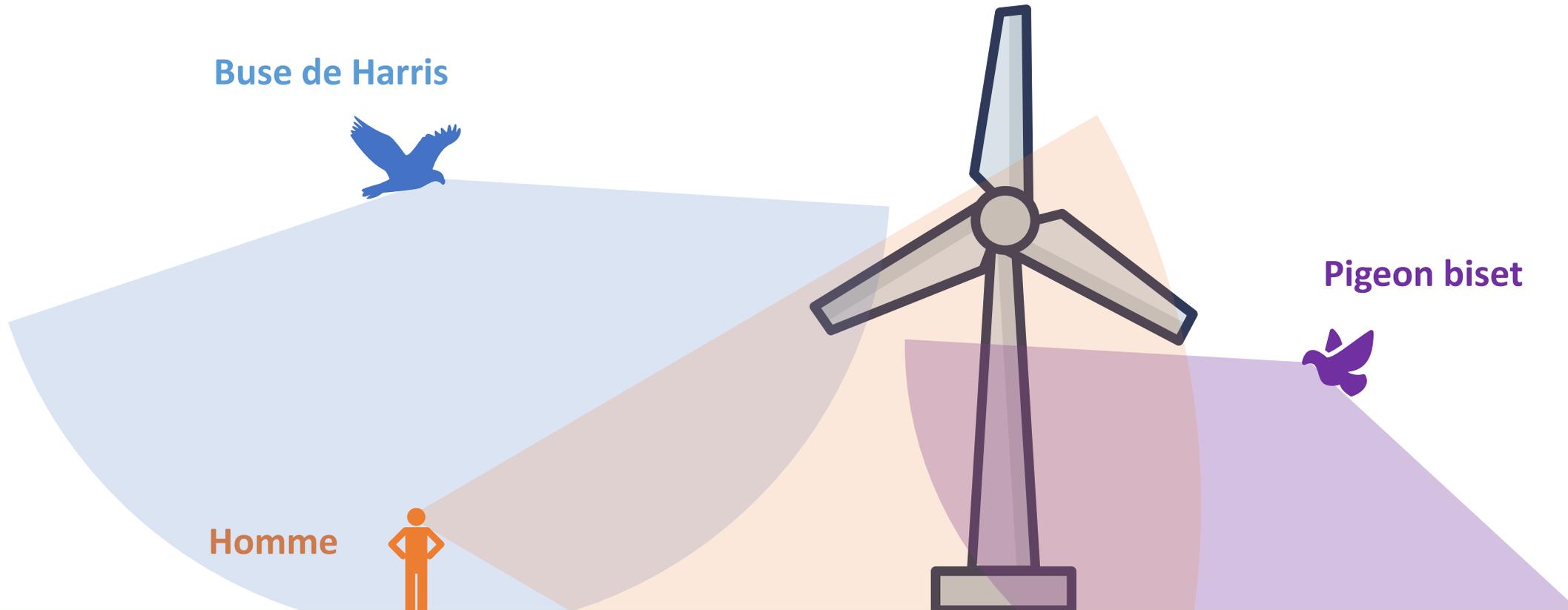
Pigeon biset



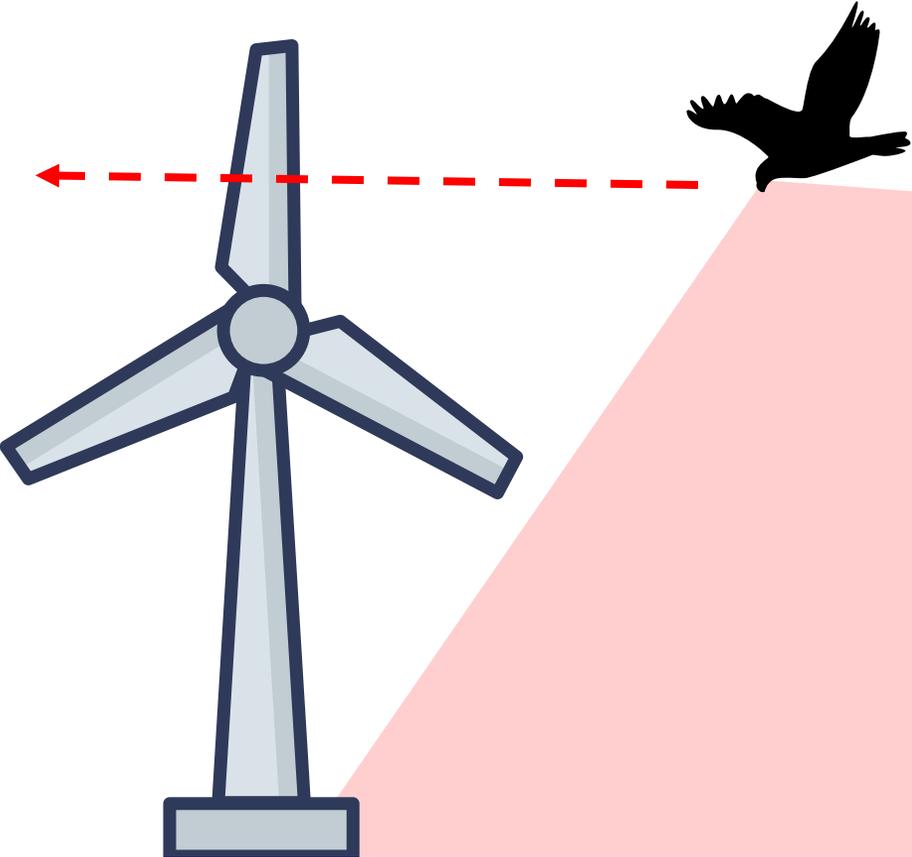
Columba livia

Connaissances variables

Champ de vision



Champ de vision



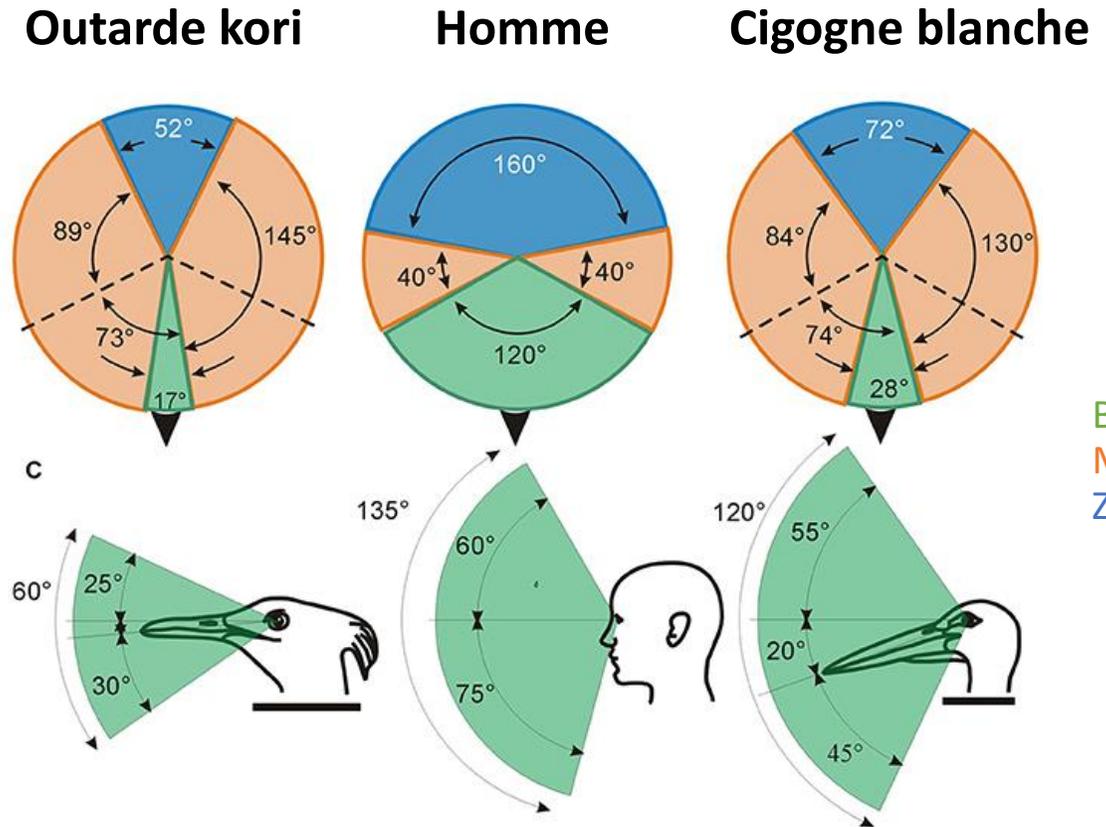
Champ de vision

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

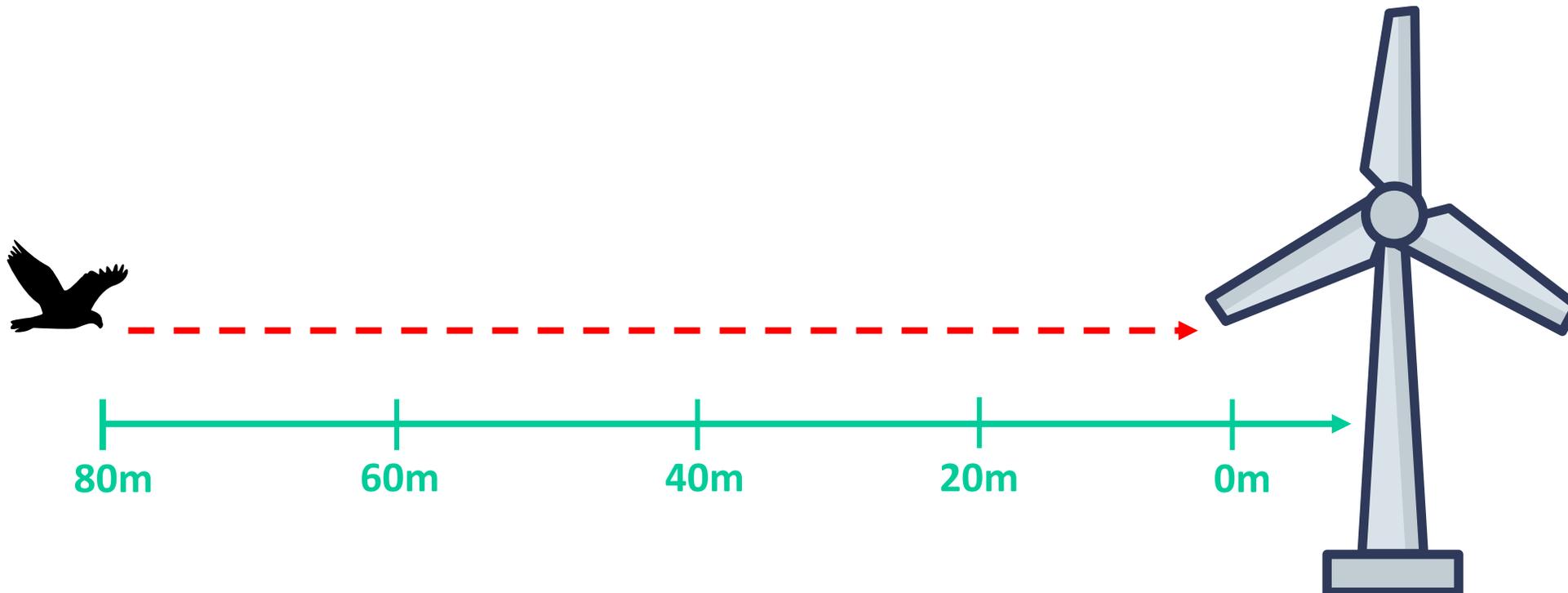


Binoculaire
 Monoculaire
 Zone aveugle

Martin (2017)

Acuité visuelle

Capacité à distinguer un petit objet de loin

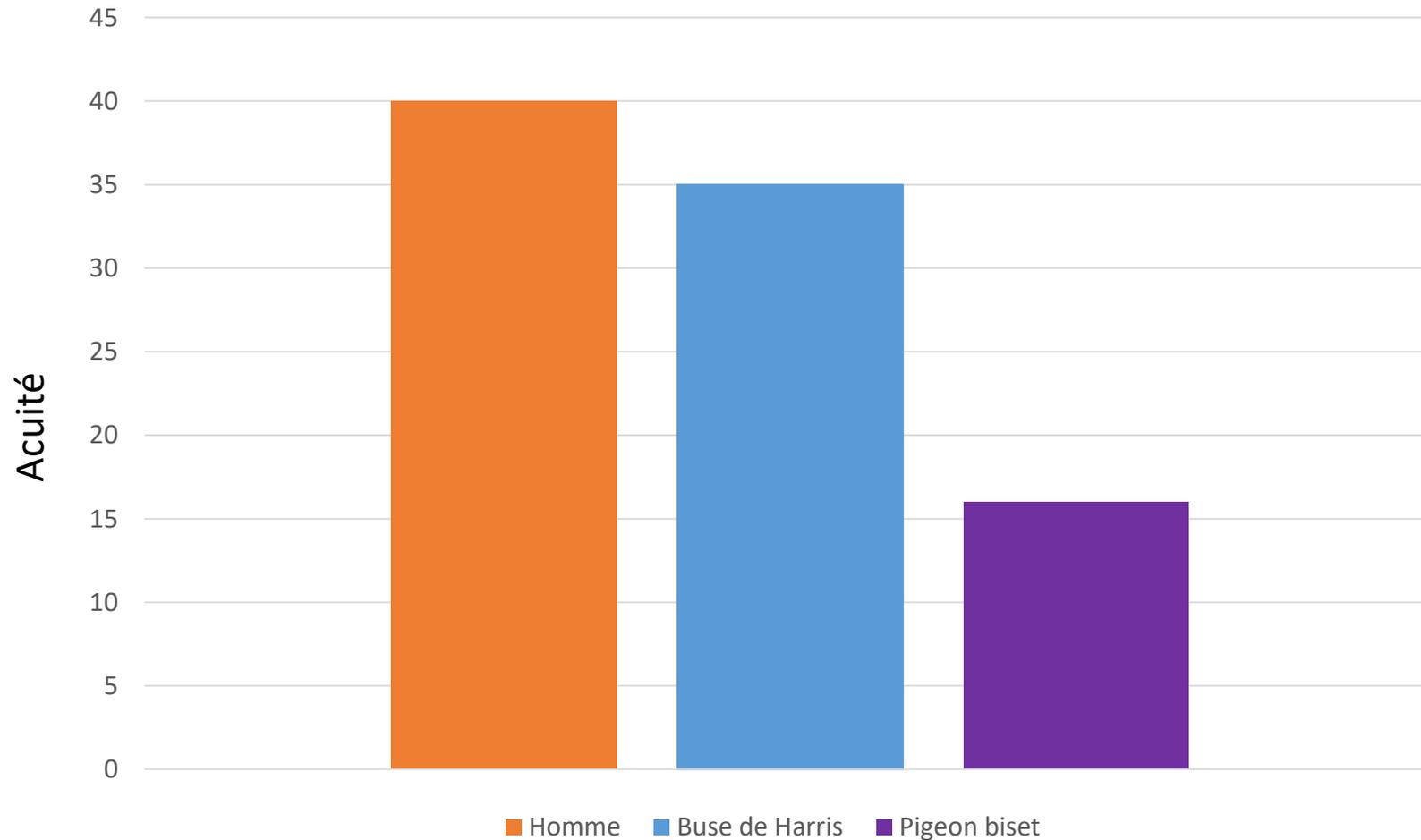


Acuité visuelle

Capacité à distinguer un petit objet de loin



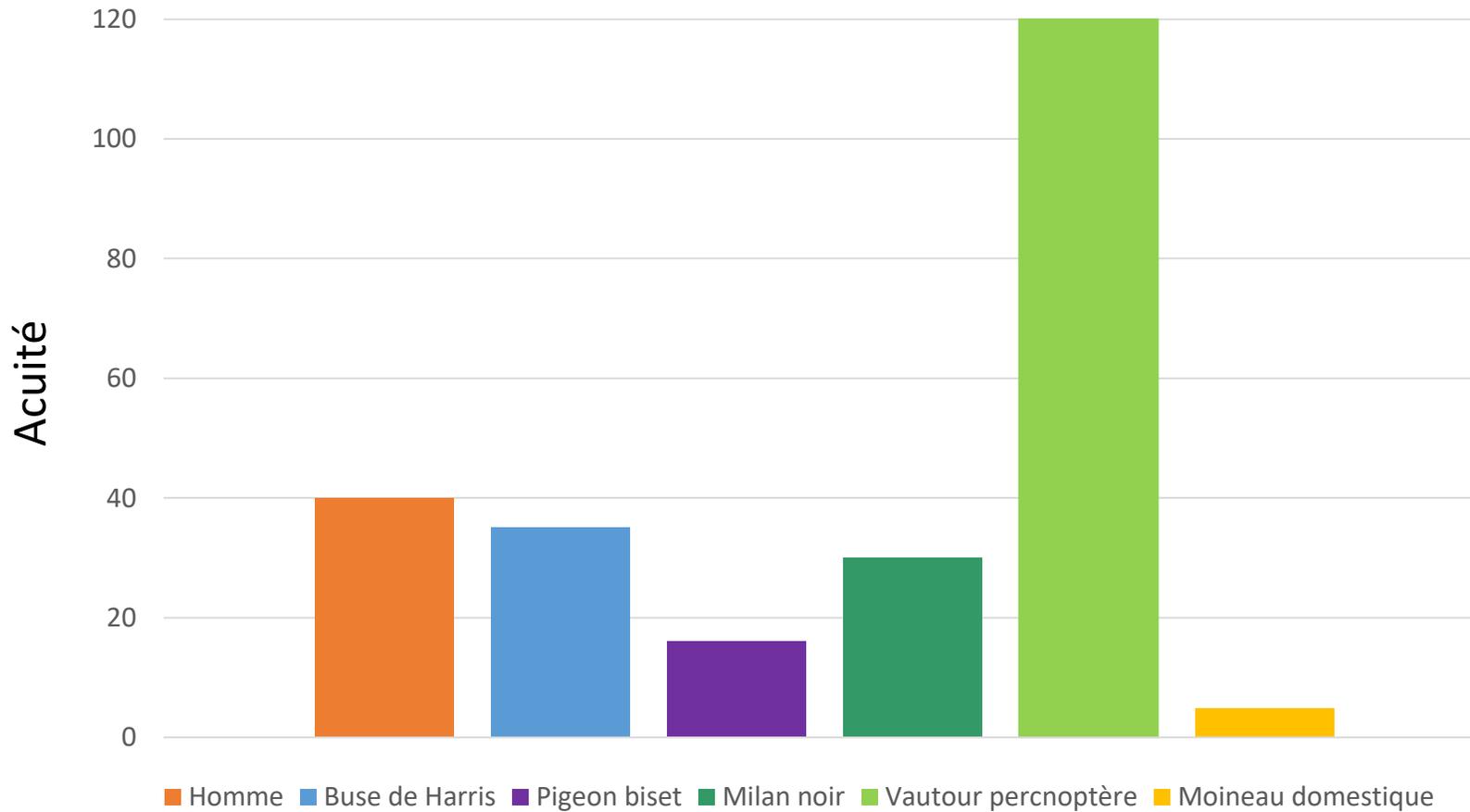
Capacité à distinguer un petit objet de loin



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

Acuité visuelle

Capacité à distinguer un petit objet de loin



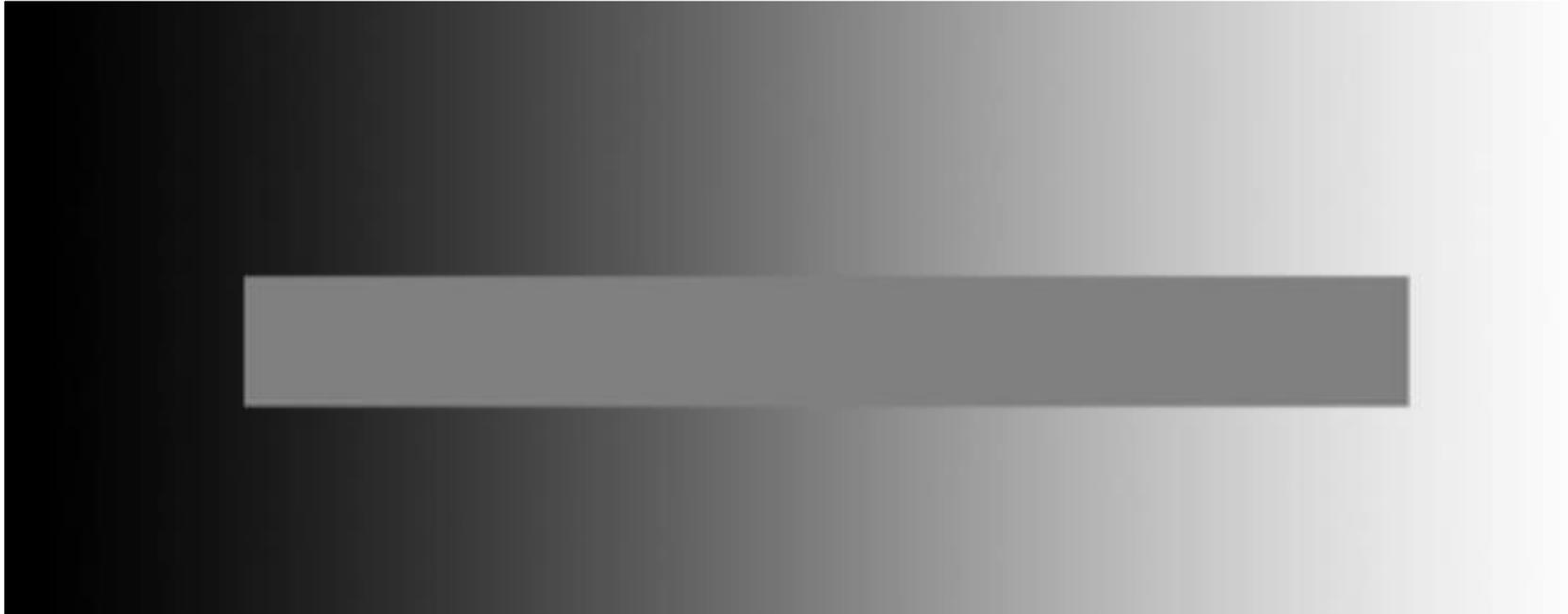
Oiseaux :
 > 60 articles
 > 50 espèces

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



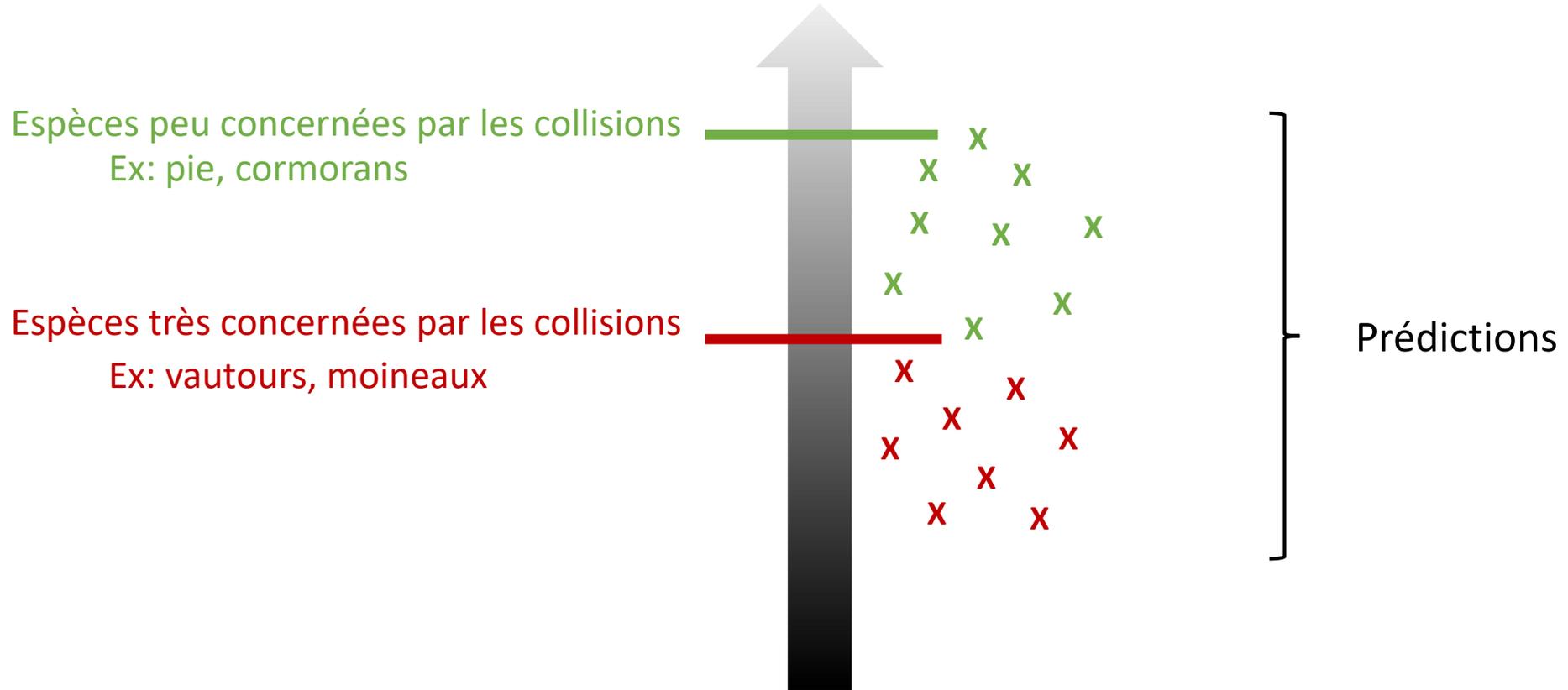
Contraste

Capacité à percevoir la différence de luminosité réfléchi par deux objet



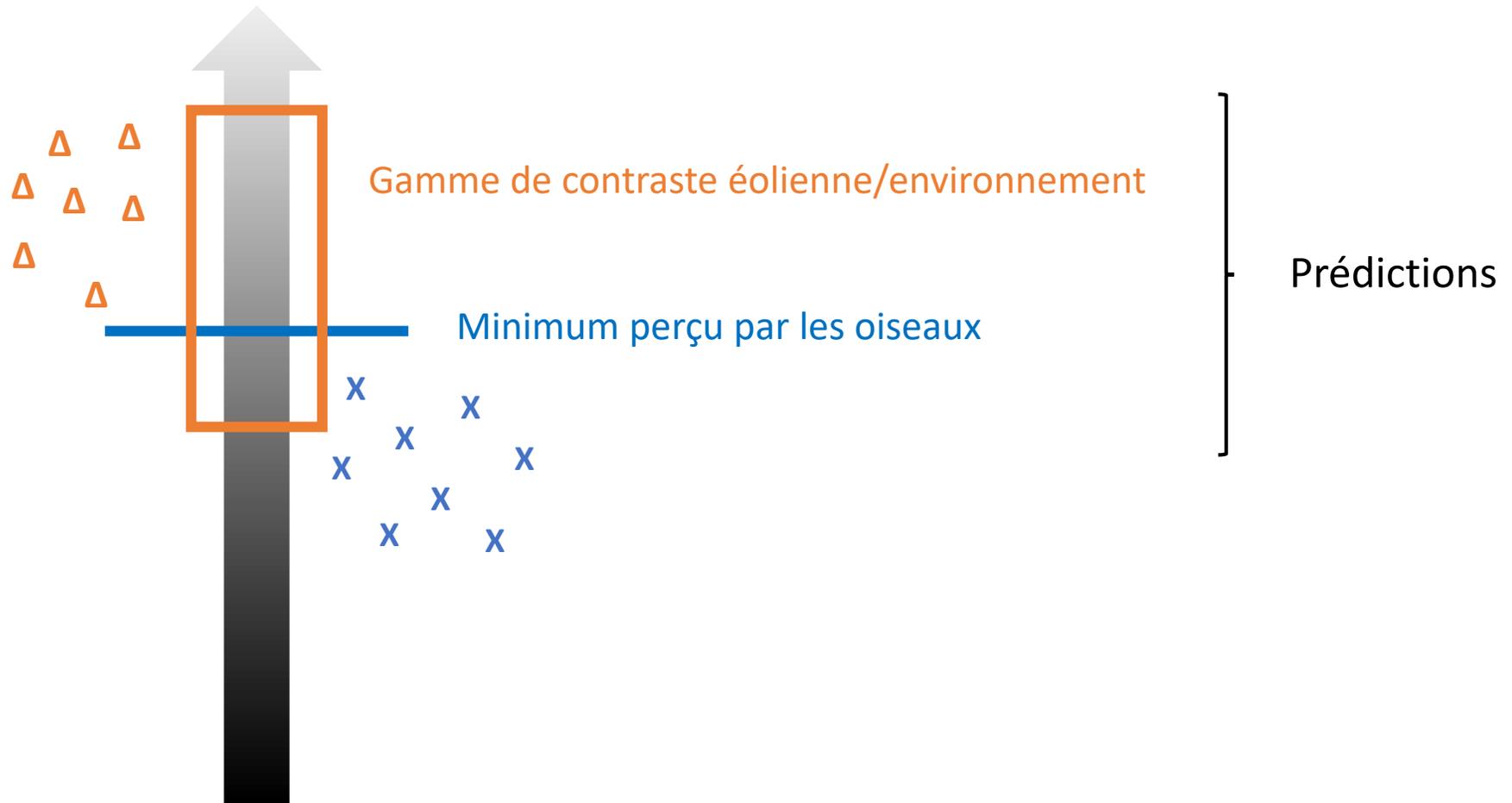
Contraste

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

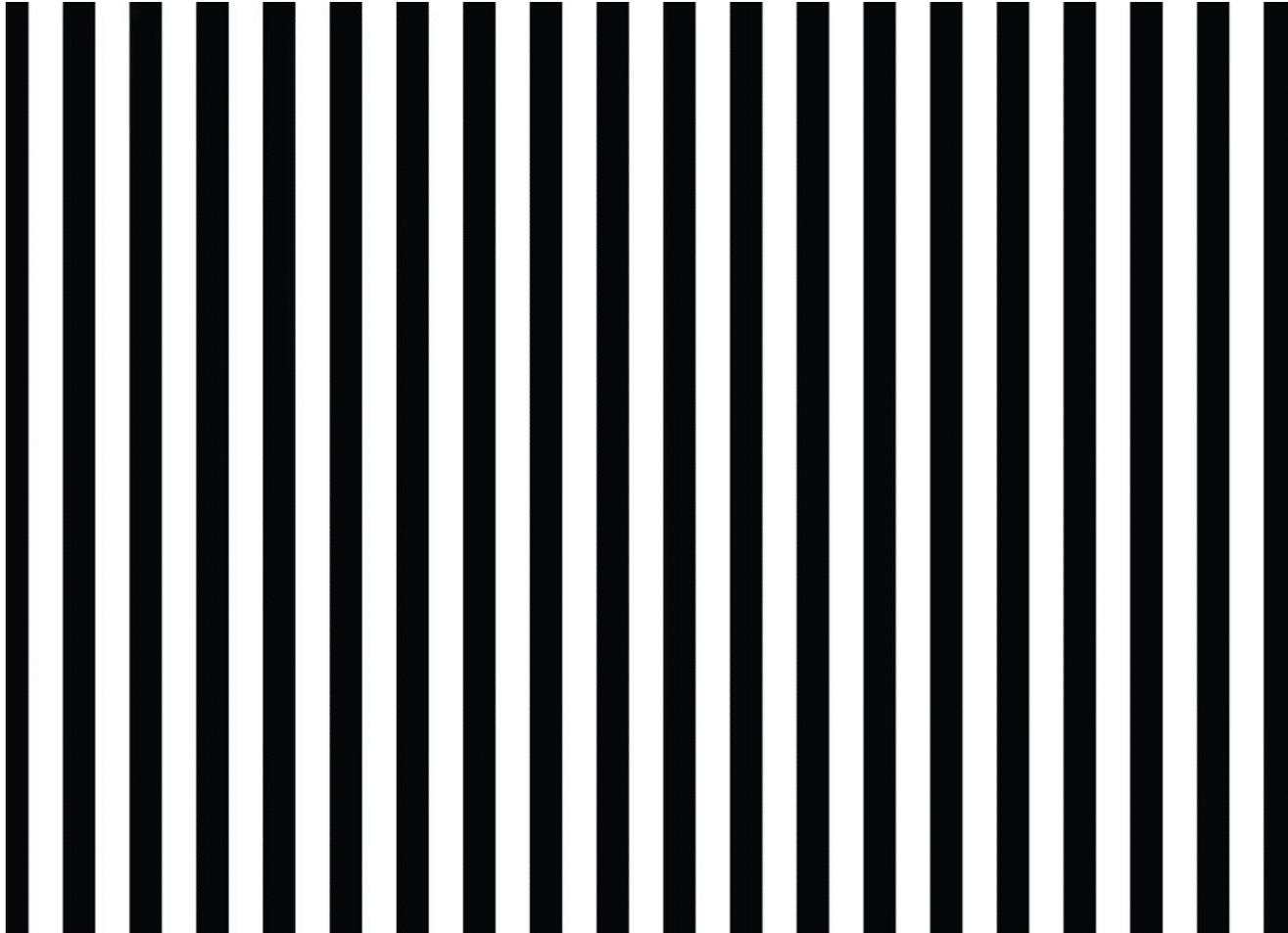


Contraste

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

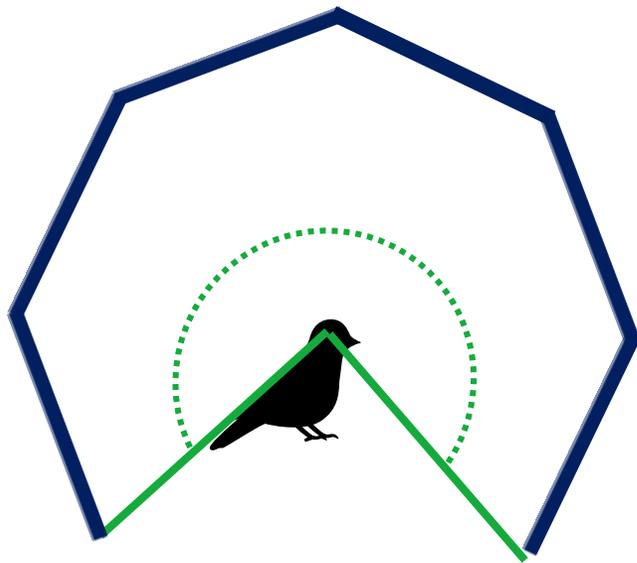


Contraste

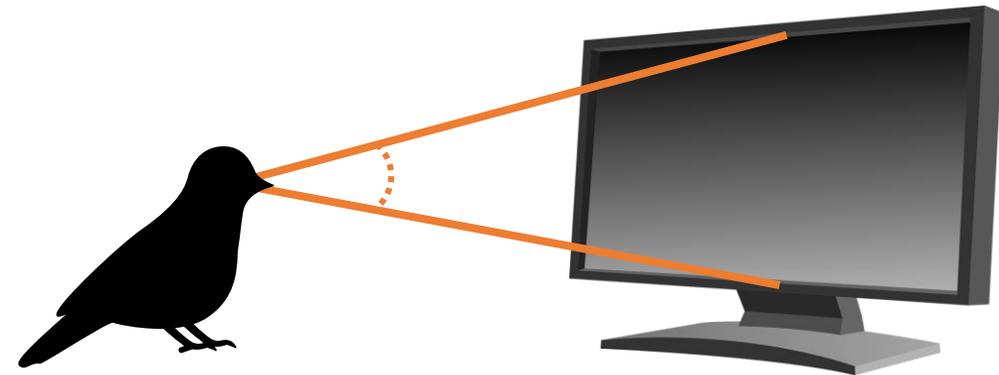


Contraste

Couvrir un large champ de vision



Largeur & Hauteur



Environnement neutre

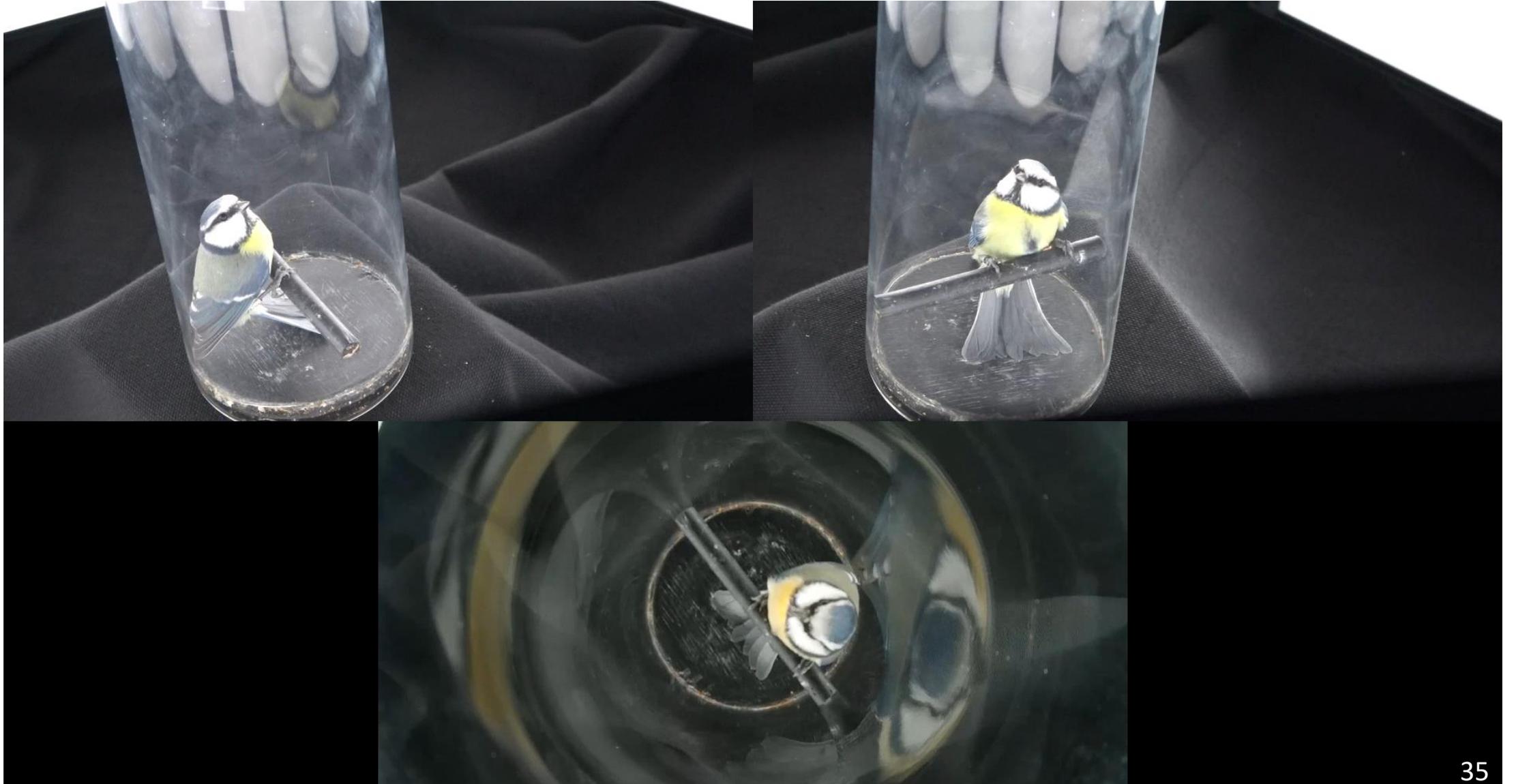
Contraste



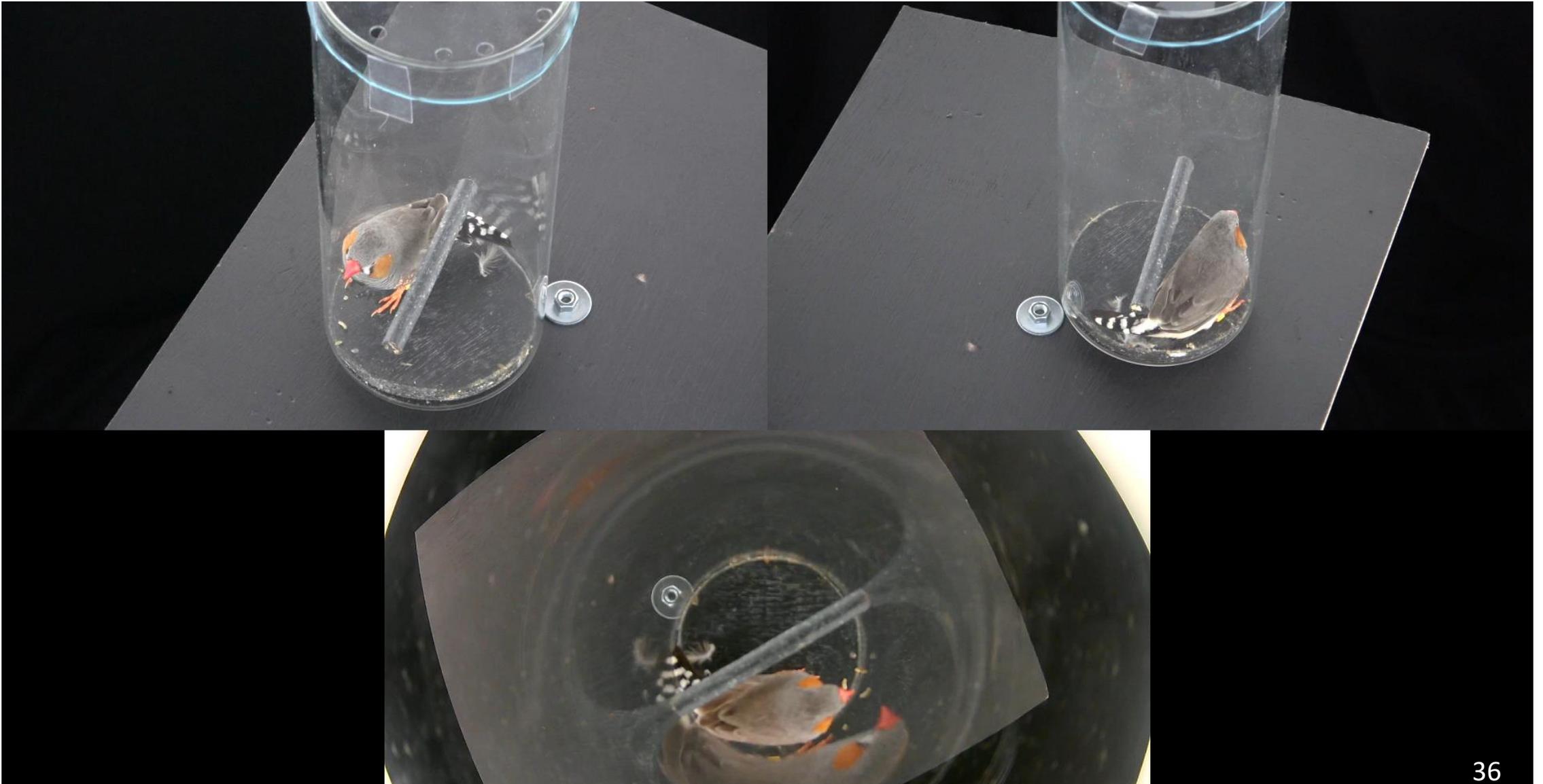
Contraste



Contraste



Contraste



Contraste

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

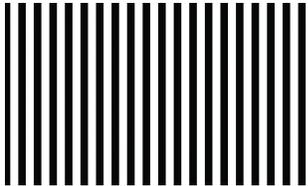
➤ Contraste



➤ FS : Fréquence Spatiale = largeur des bandes



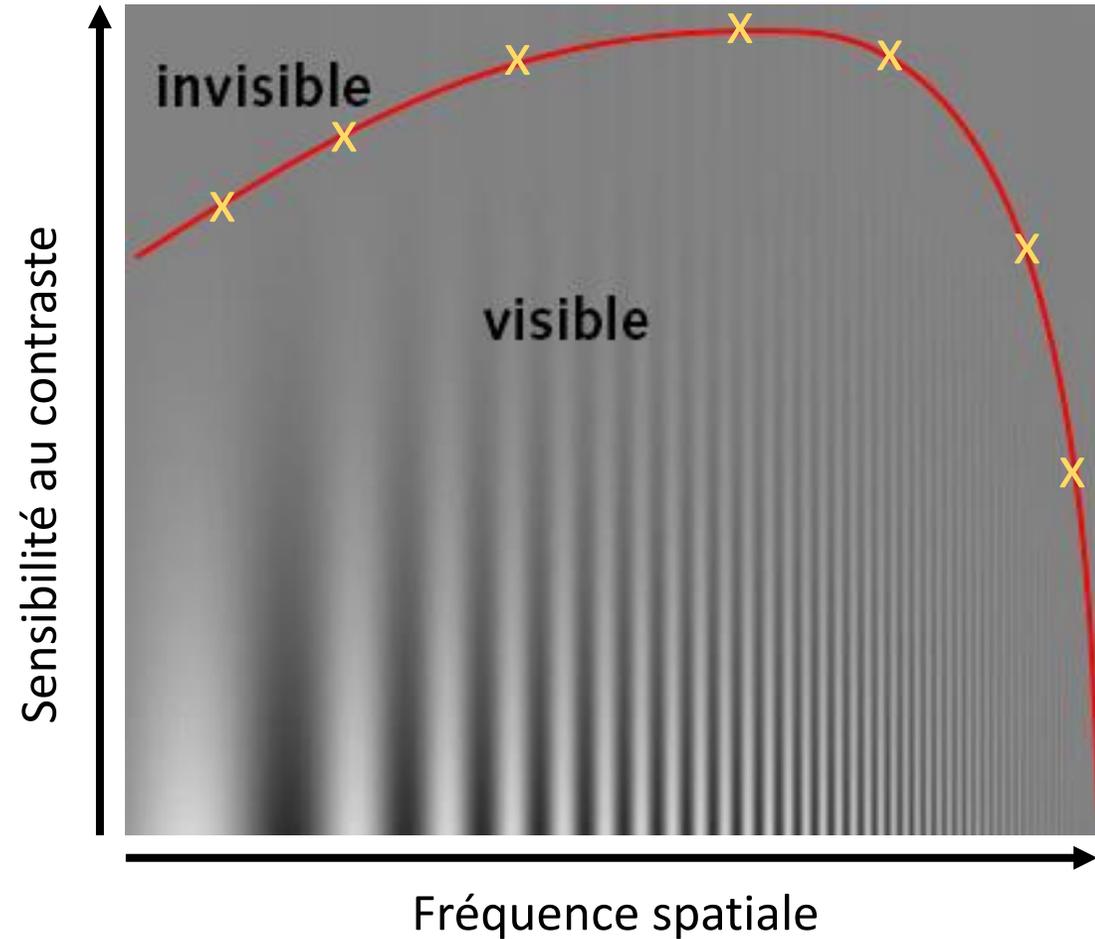
➤ VA : Vitesse Angulaire = vitesse de défilement



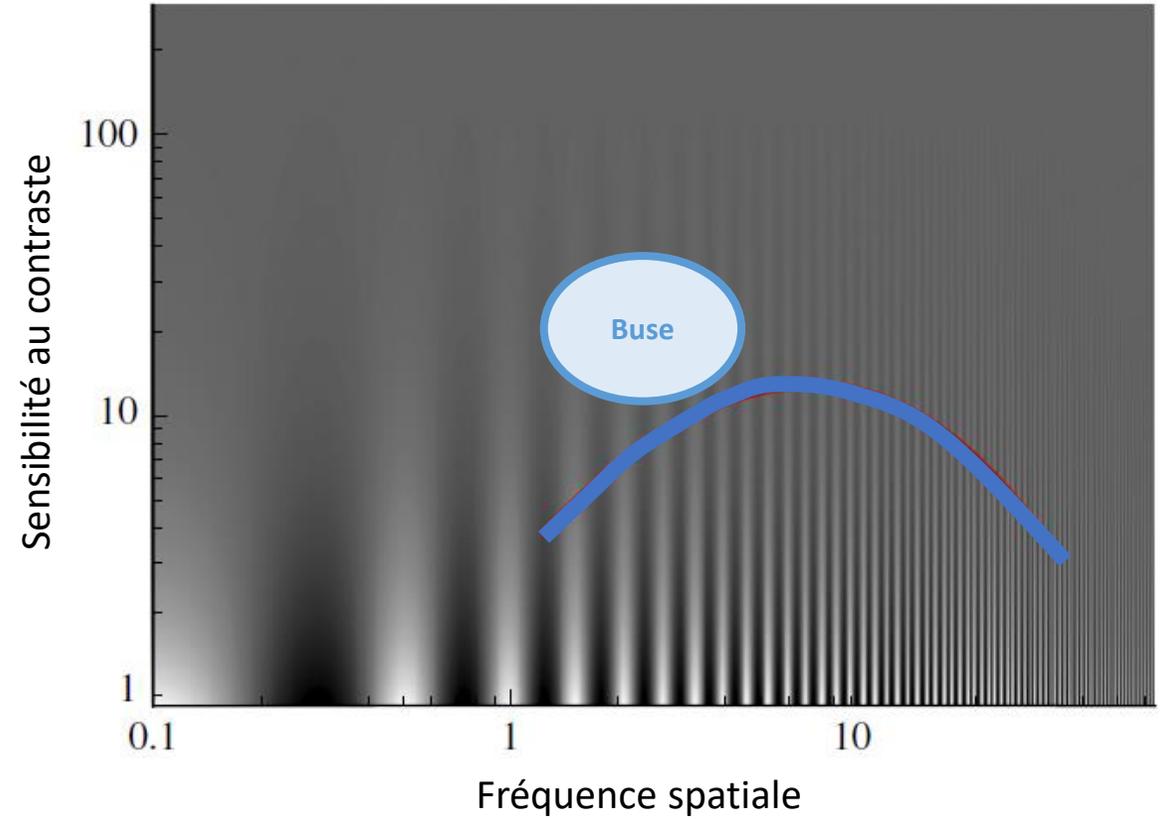
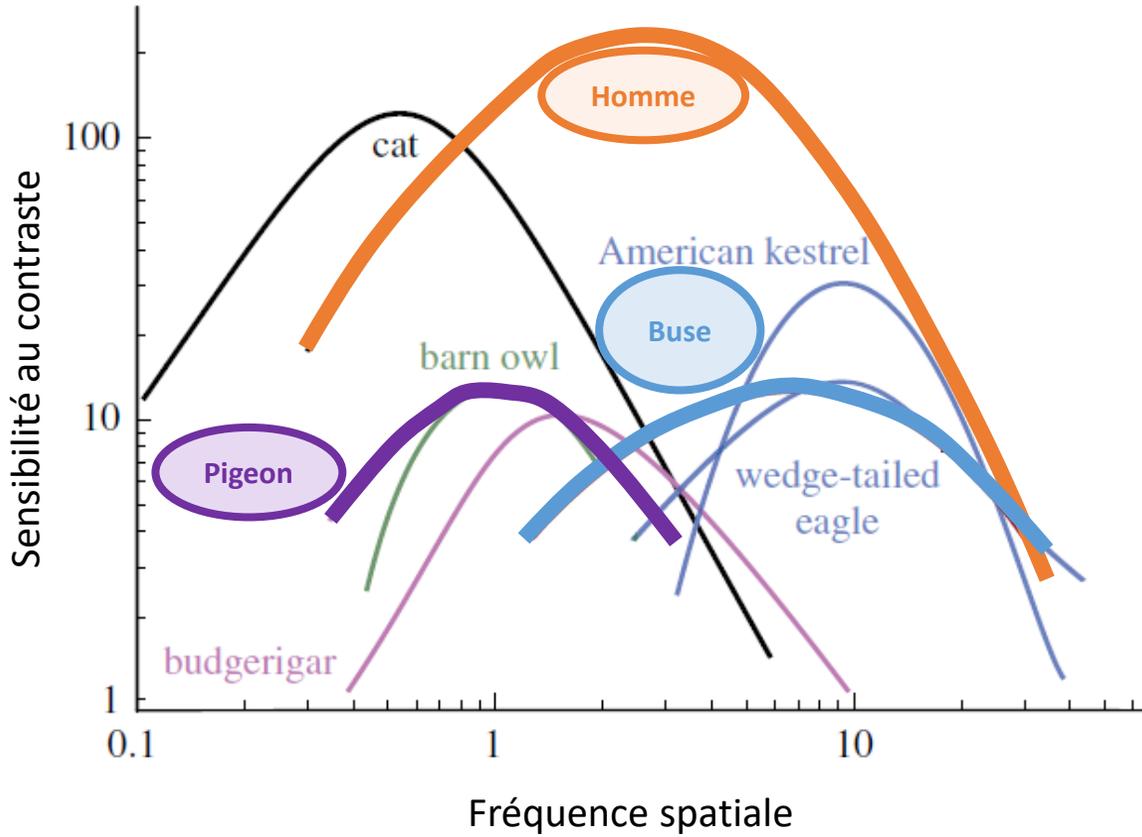
Contraste

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

→ Fonction de sensibilité au contraste



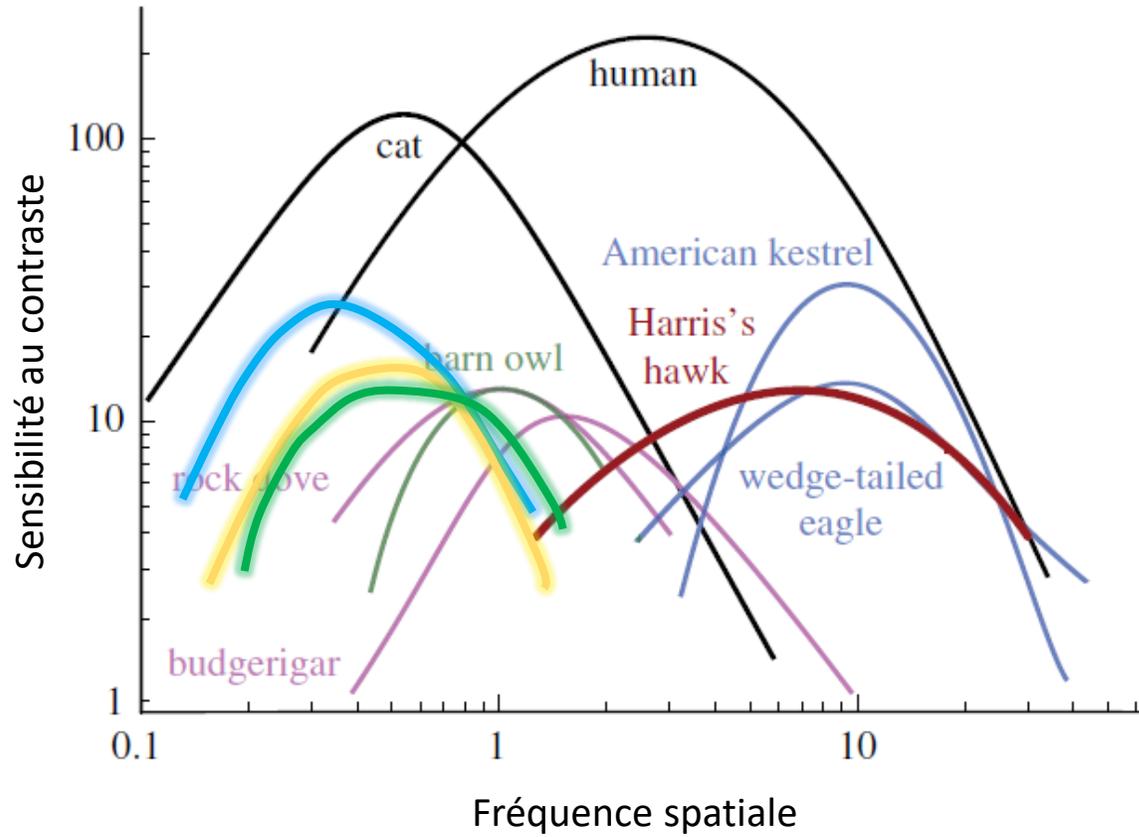
Contraste



Potier et al. (2018)

Contraste

Mésanges bleues



Diamants mandarins

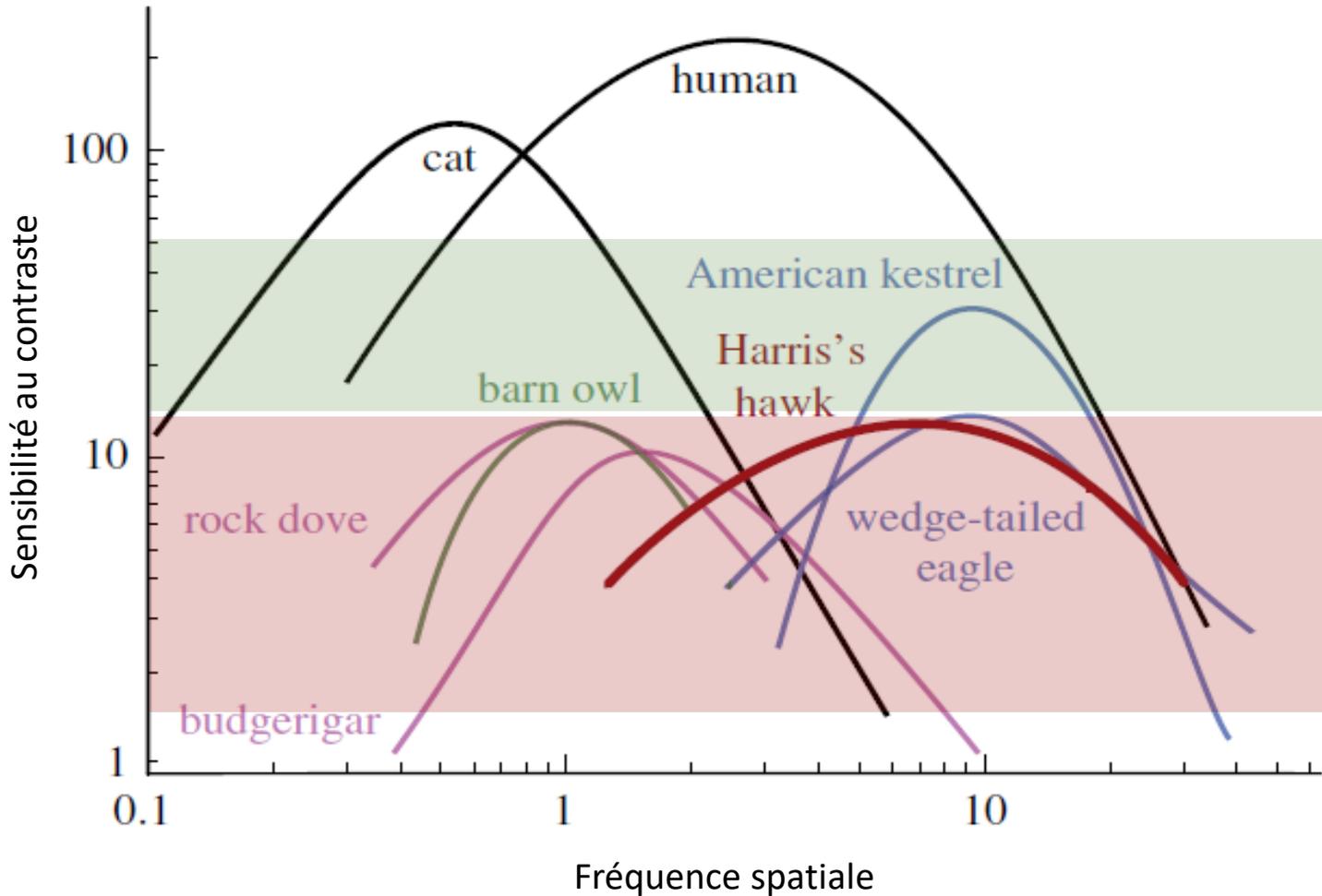


Moineaux domestiques



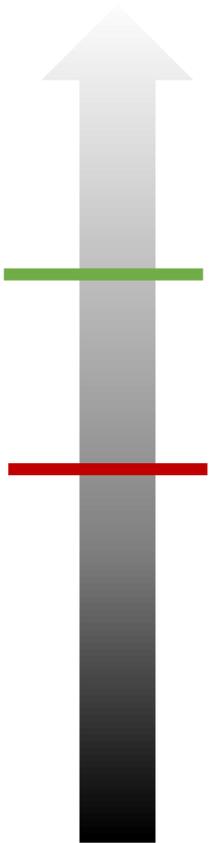
Contraste

Prédictions



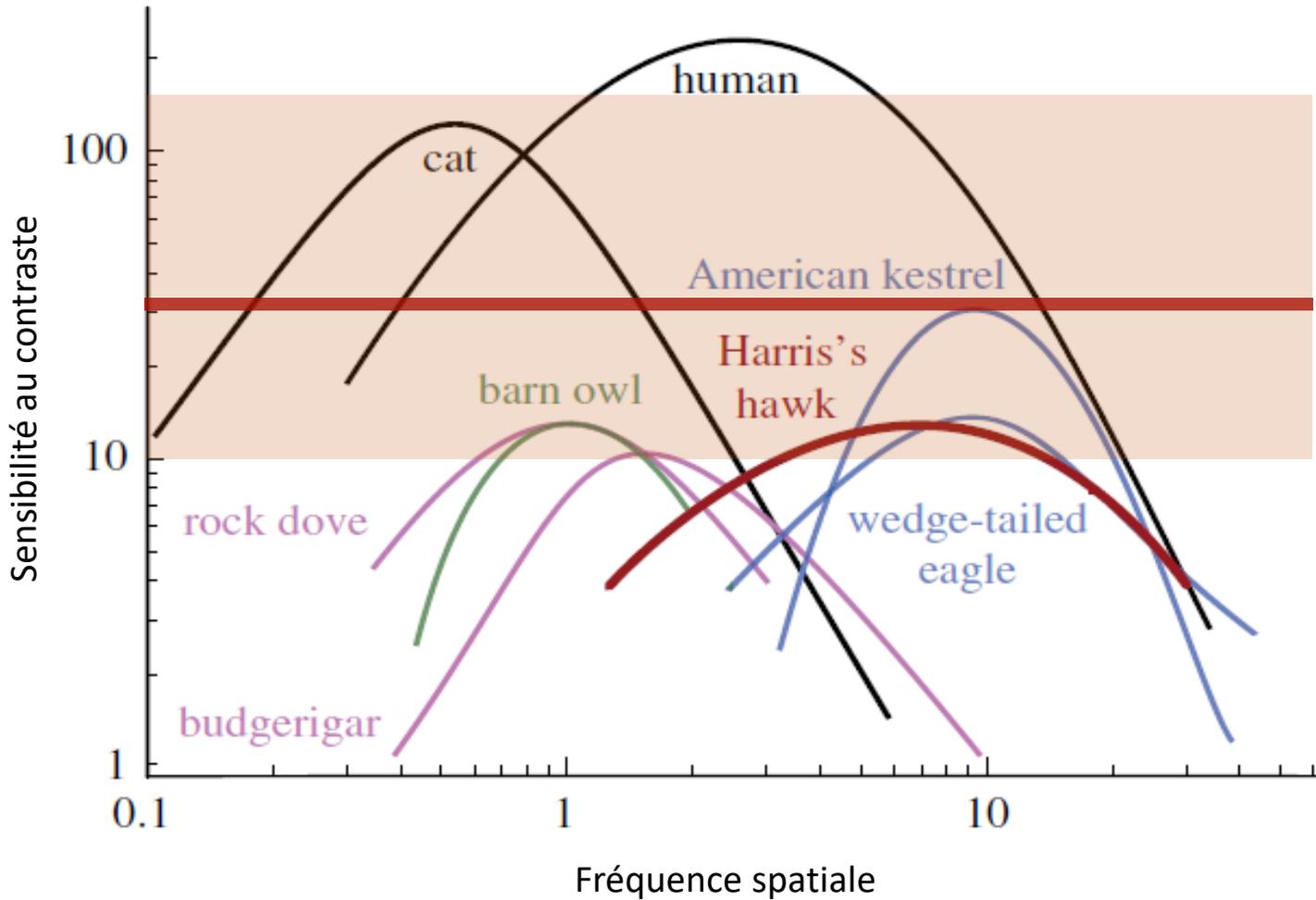
? Espèces peu concernées par les collisions ?

? Espèces très concernées par les collisions ?

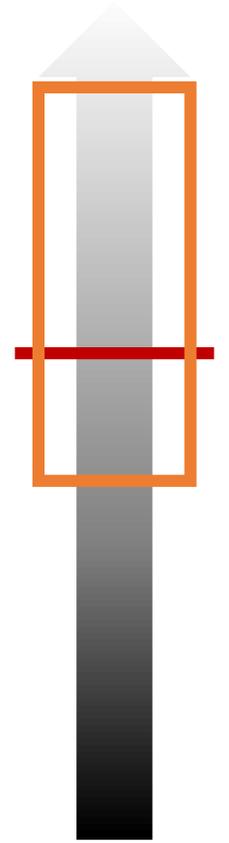


Contraste

Prédictions



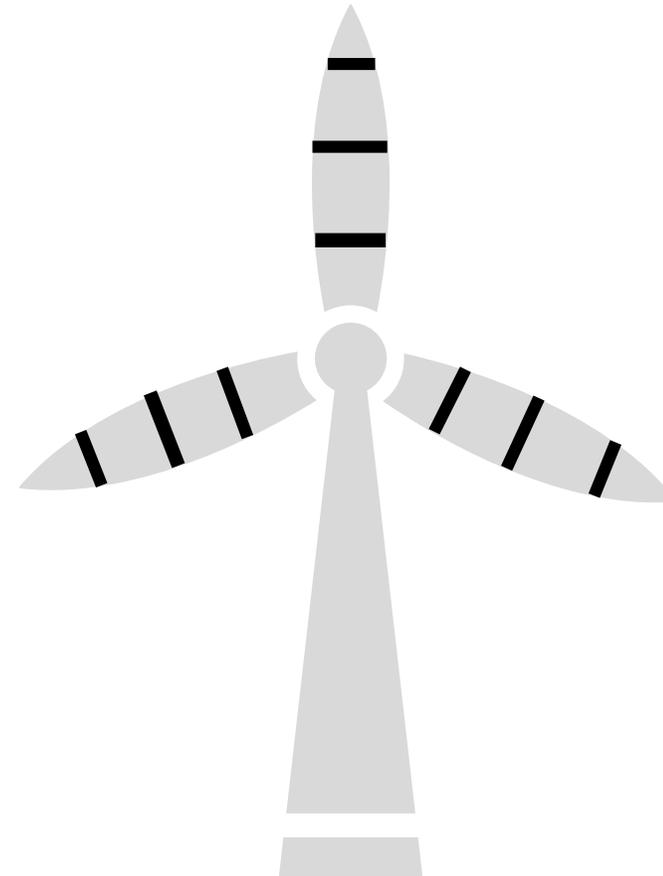
? Contraste éolienne/environnement ?
 ? Seuil maximum perçu par les oiseaux ?



La pale noire ?

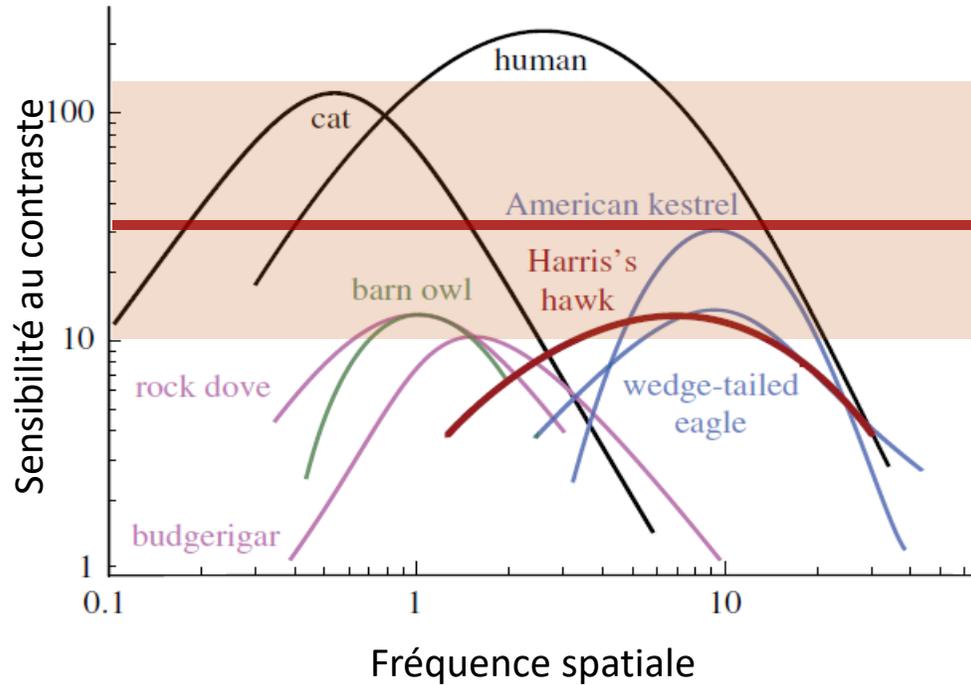


May et al. (2020)



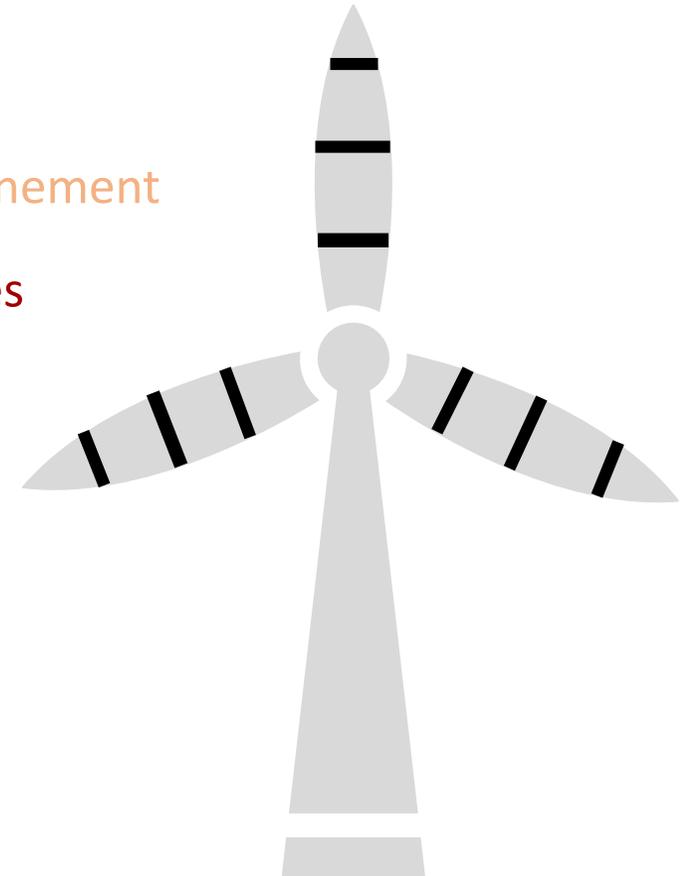
Contraste

La pale noire ?



Contraste éolienne/environnement

Seuil maximum perçu par les oiseaux



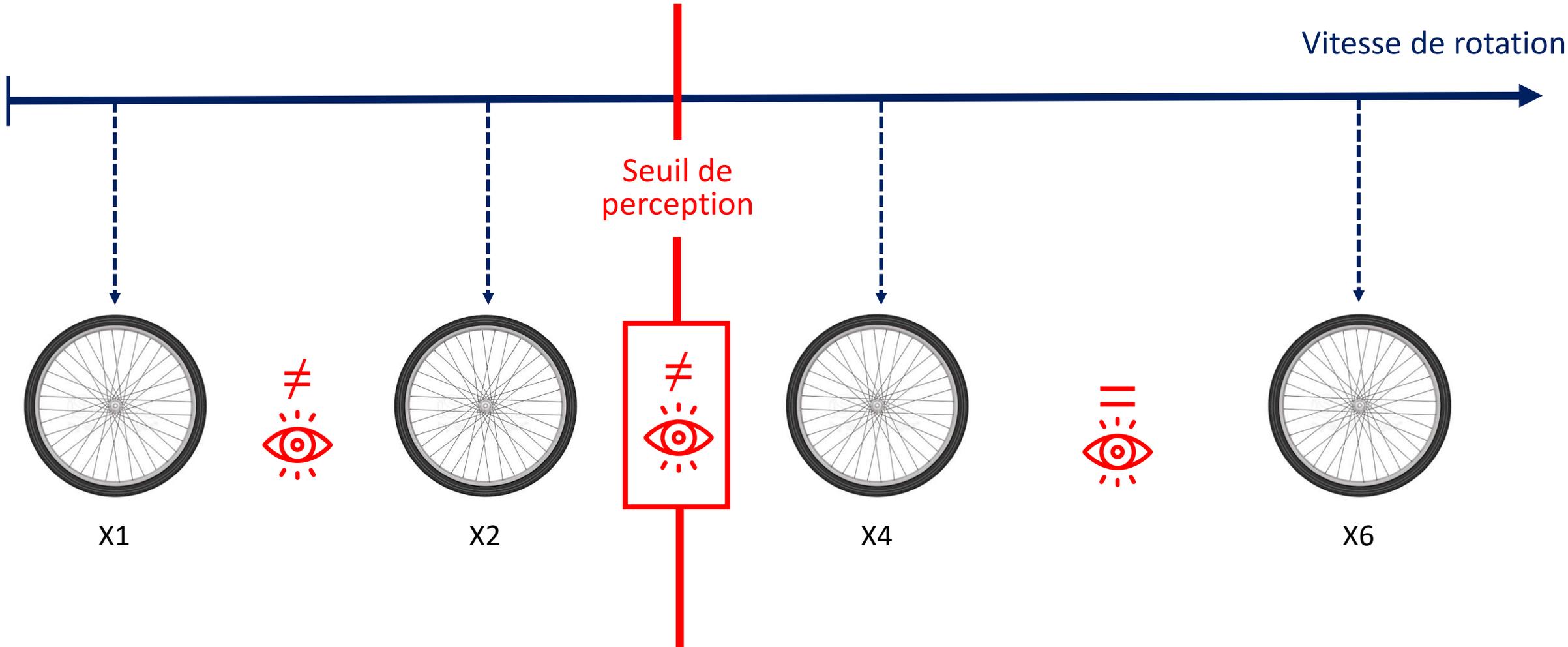
Perception du mouvement rotatif :

- Mouvement rotatoire
- Vitesse de rotation



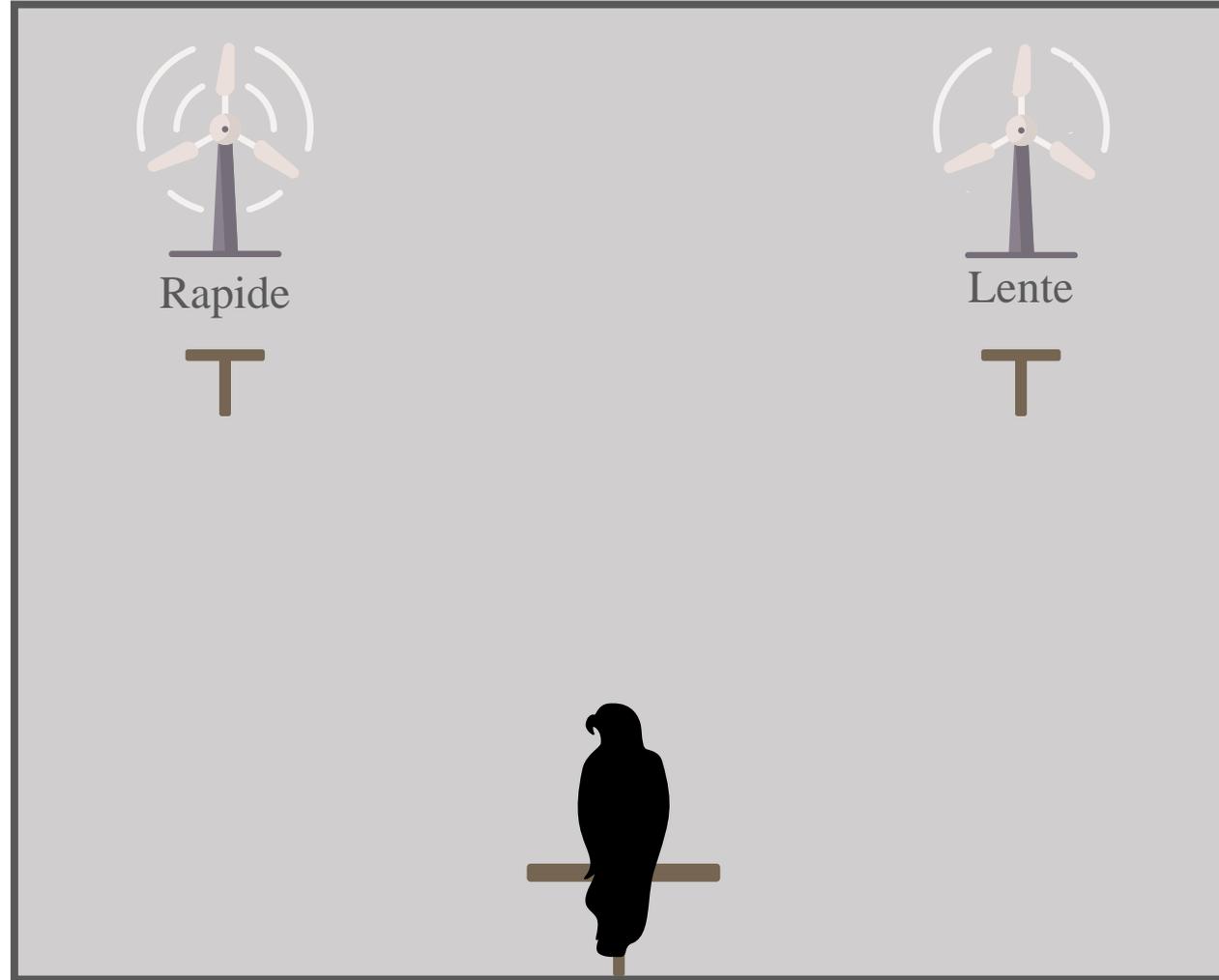
Mouvement rotatif

Perception du mouvement rotatif :



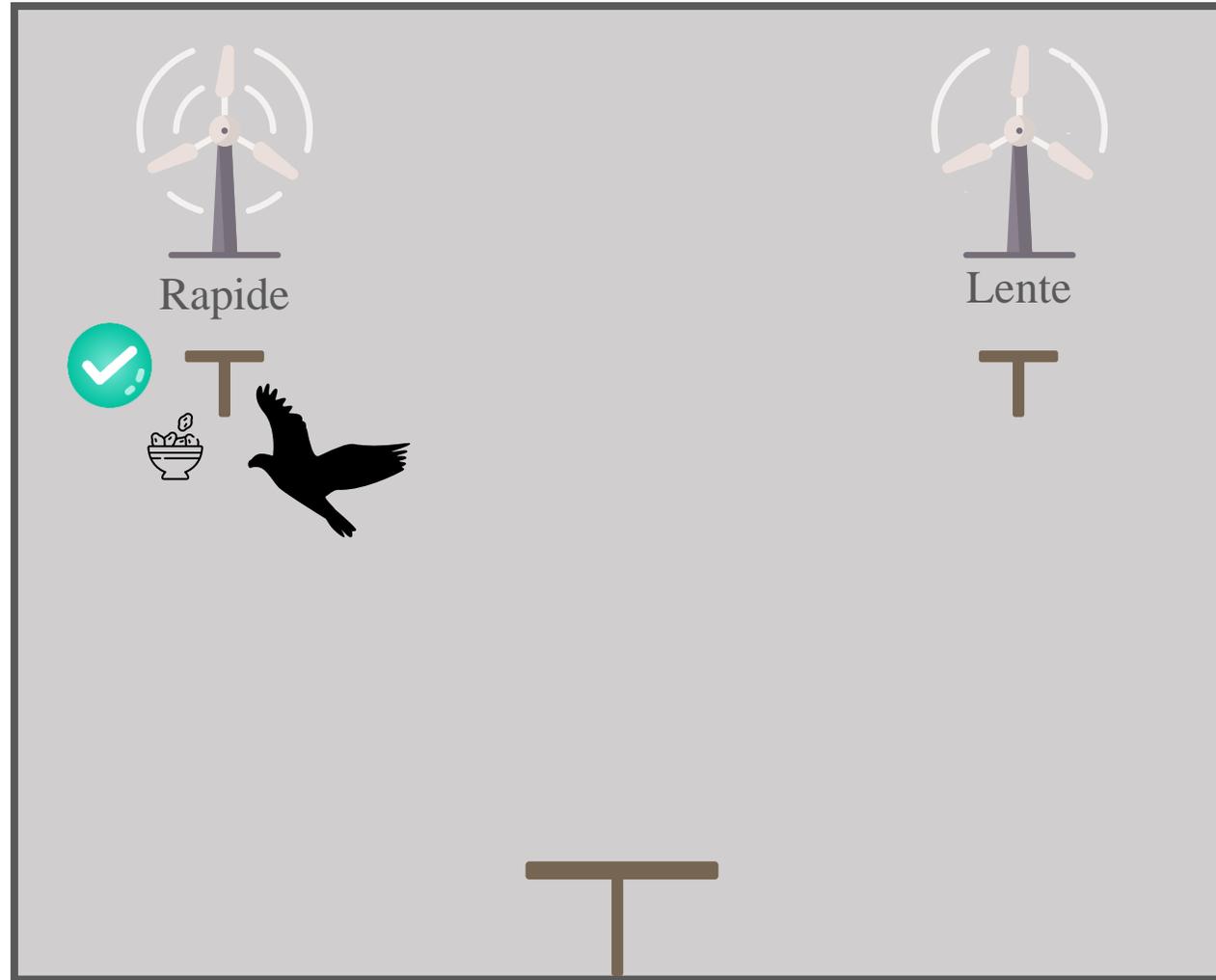
Mouvement rotatif

Conditionnement opérant



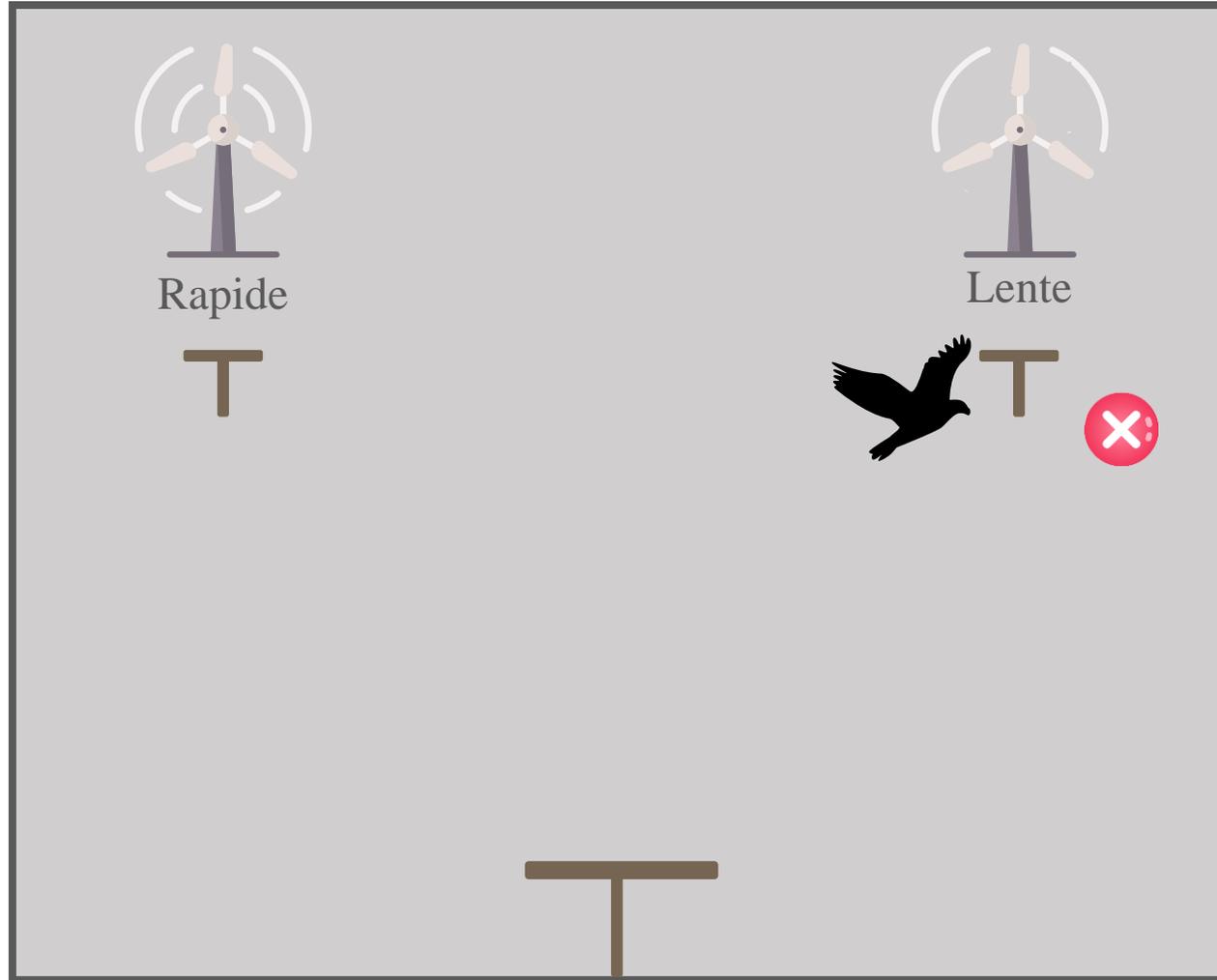
Mouvement rotatif

Conditionnement opérant



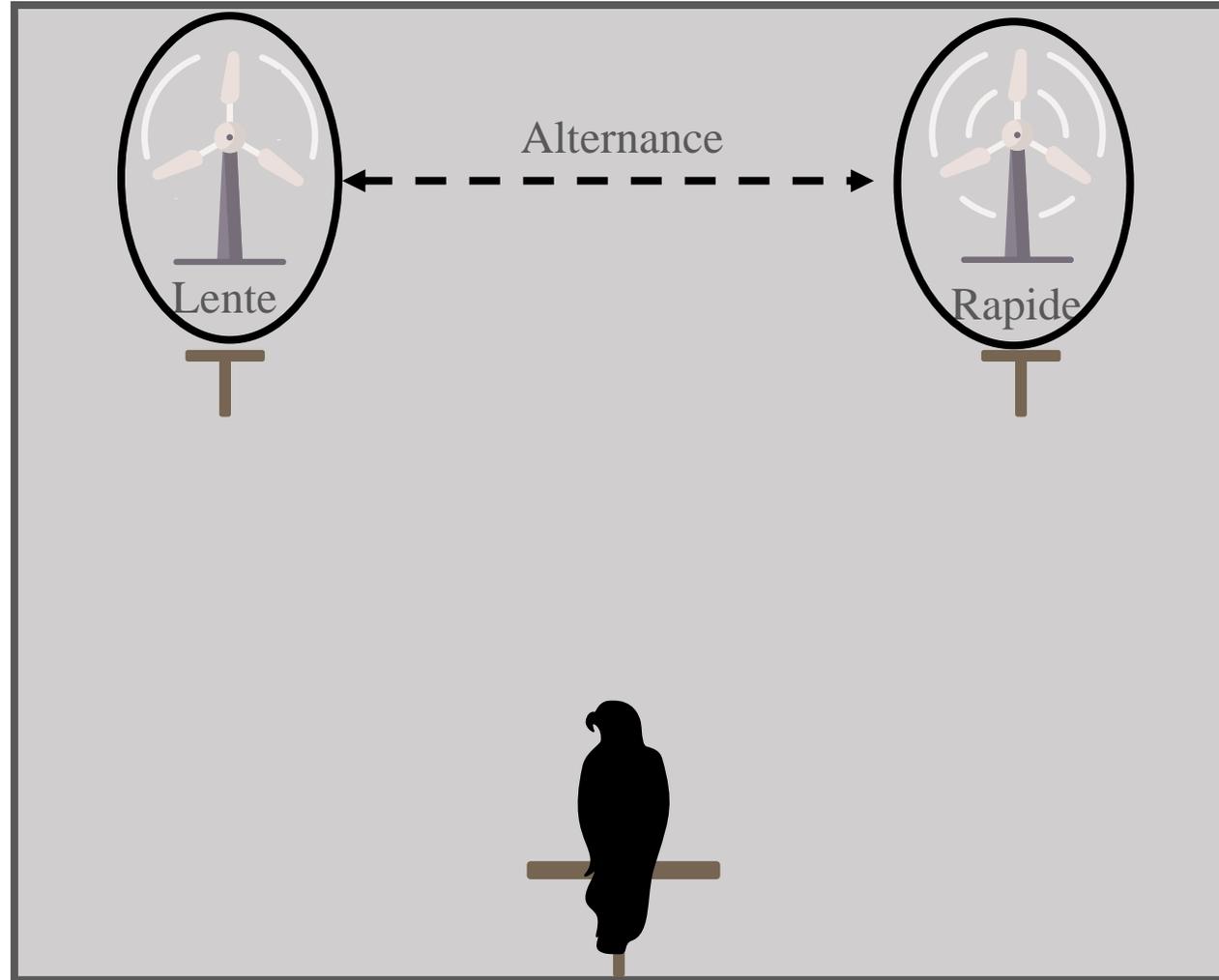
Mouvement rotatif

Conditionnement opérant



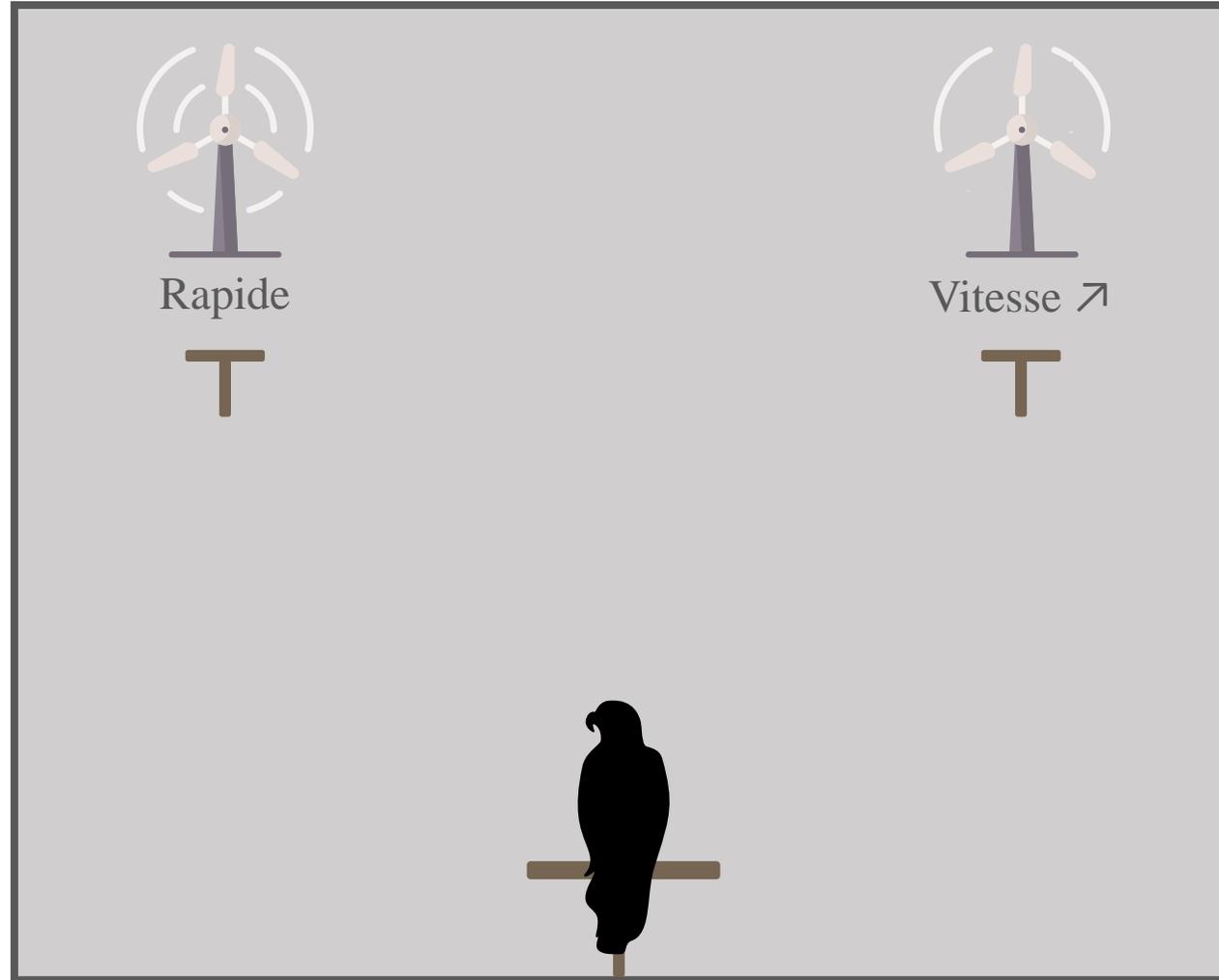
Mouvement rotatif

Conditionnement opérant



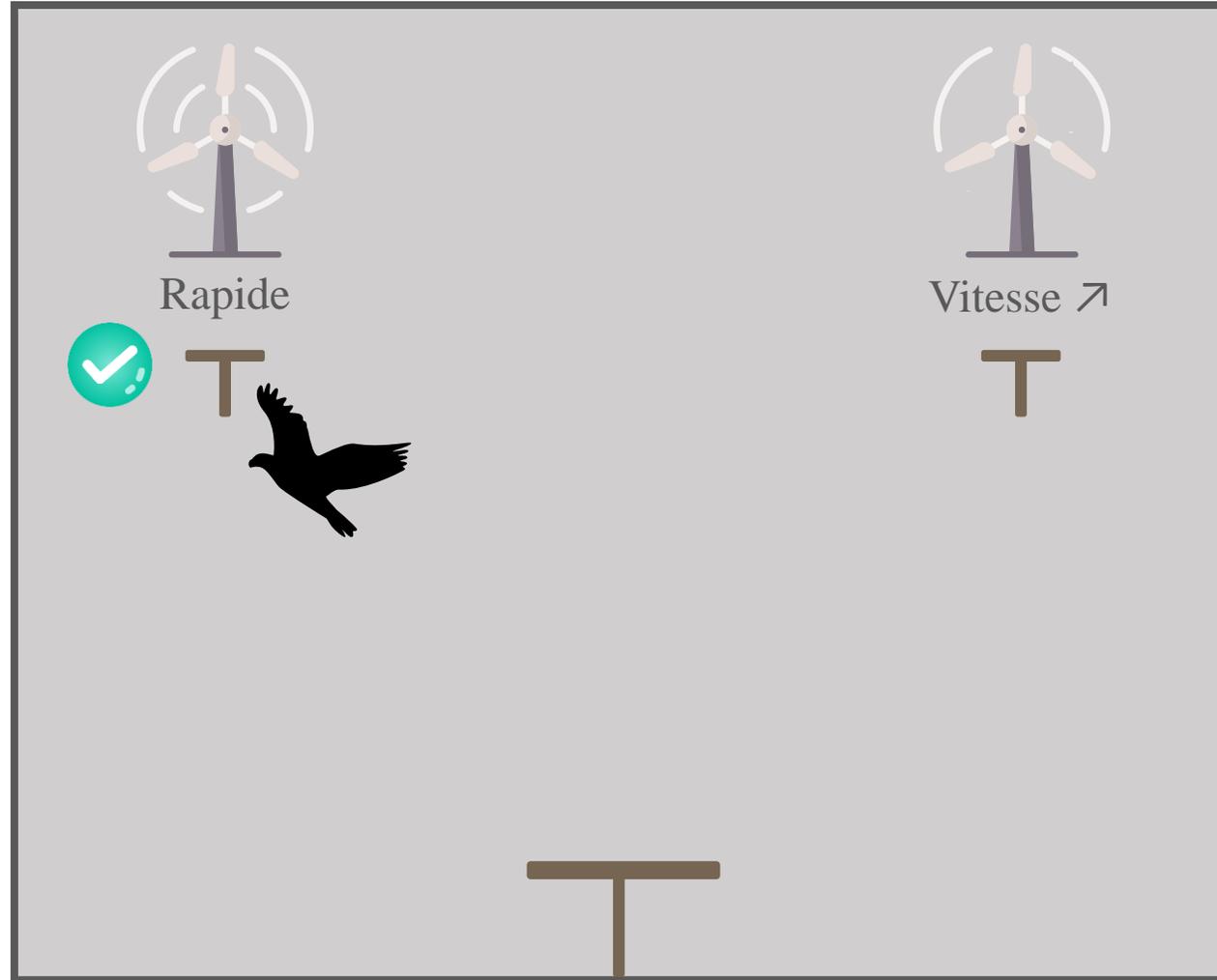
Mouvement rotatif

Conditionnement opérant



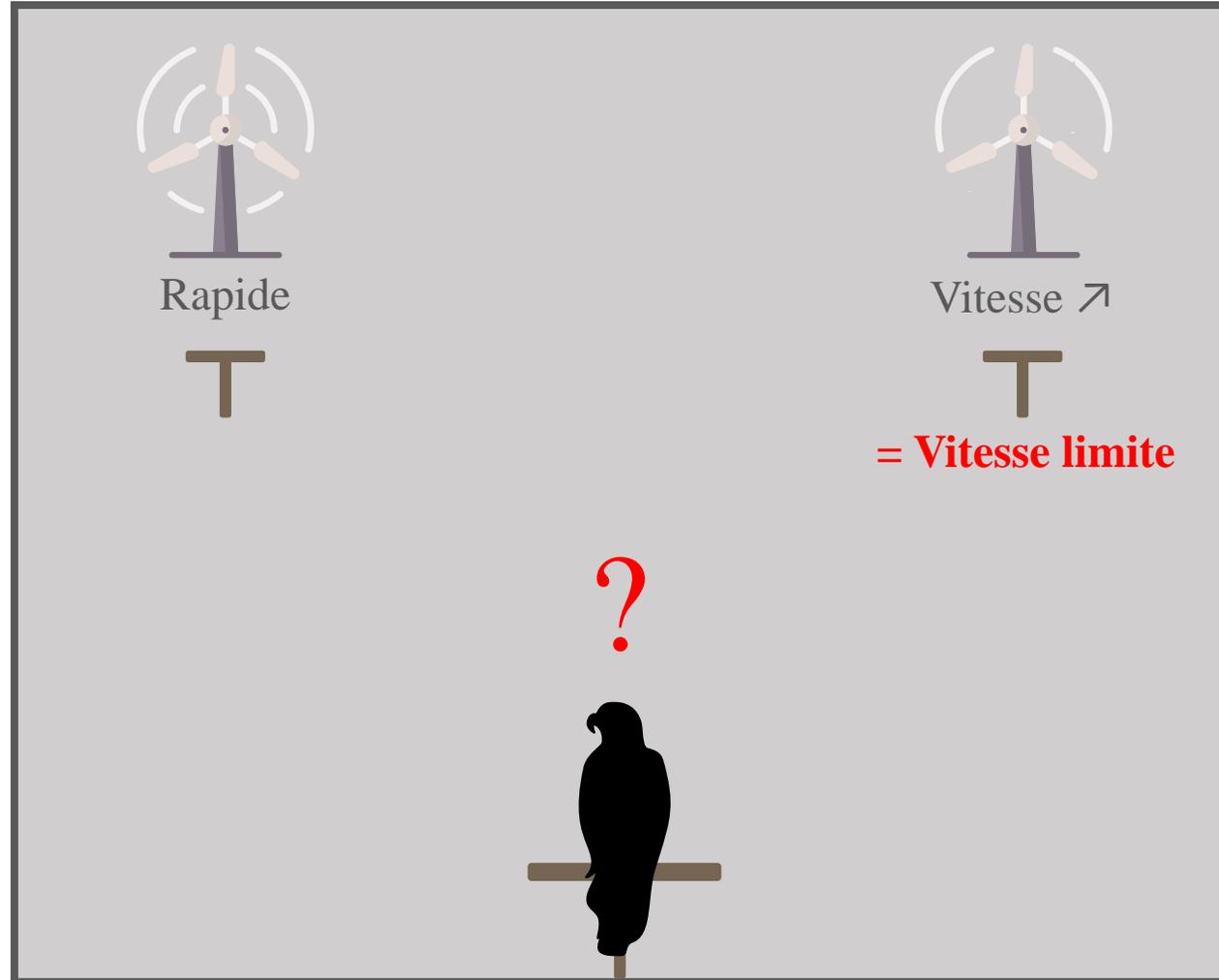
Mouvement rotatif

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 ?

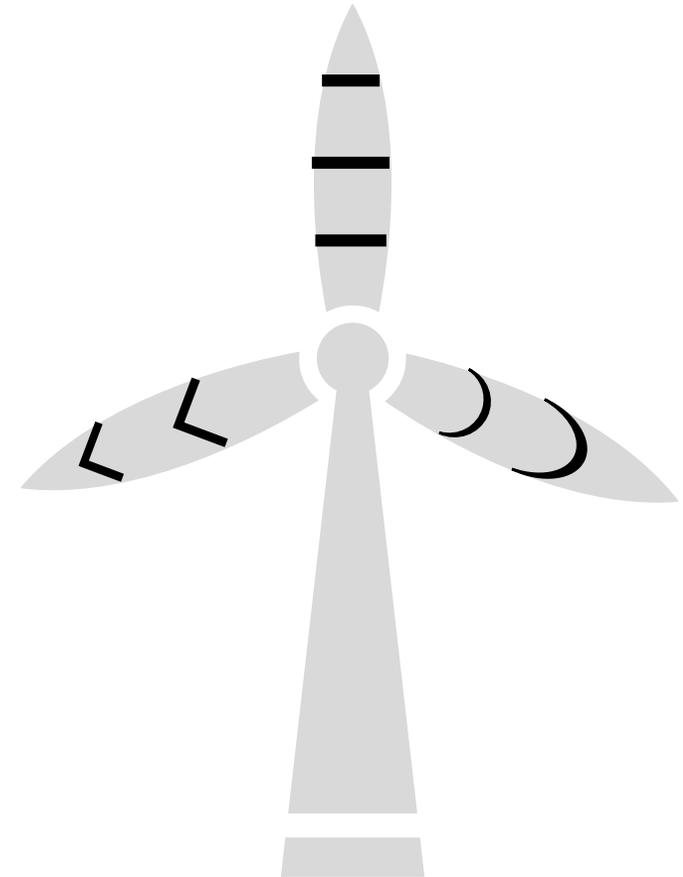
Mouvement rotatif

La pale noire ?



→ Contraste ?

→ Rotation ?



May et al. (2020)

Et si les oiseaux perçoivent les éoliennes ?

Mauvaise prise de décision ?

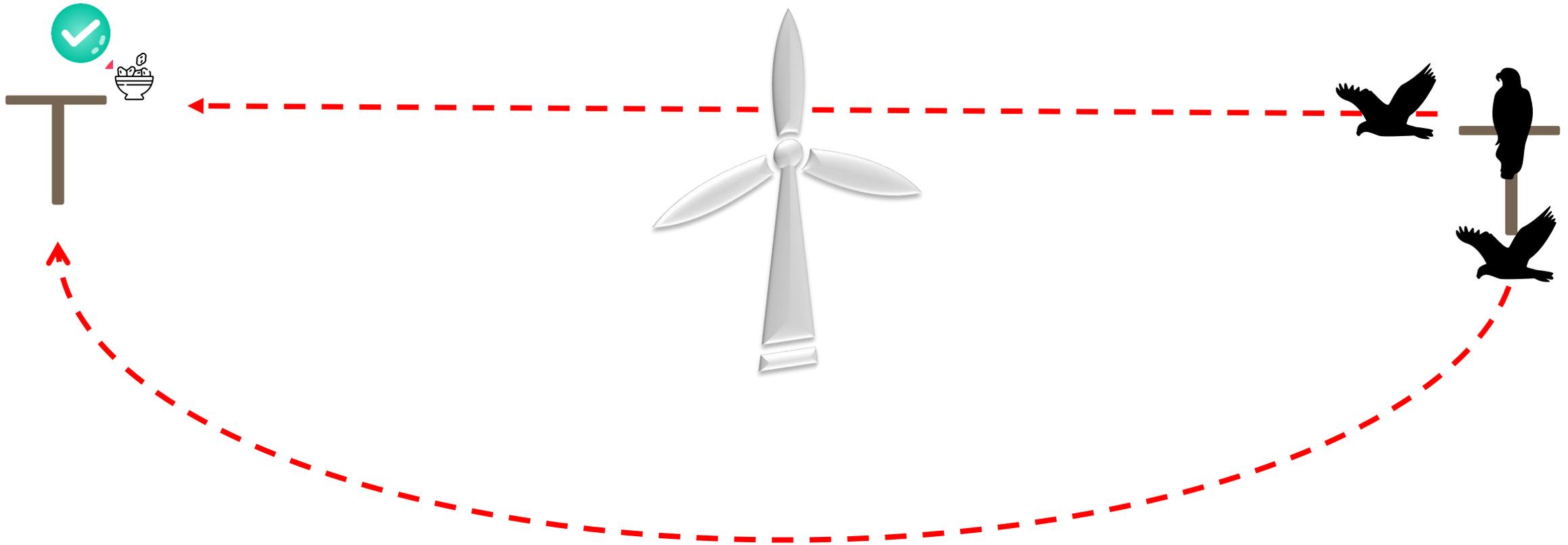


Vitesse perçue ≠ Vitesse réelle

Et si les oiseaux perçoivent les éoliennes ?

Mauvaise prise de décision ?

Comment le vérifier ?

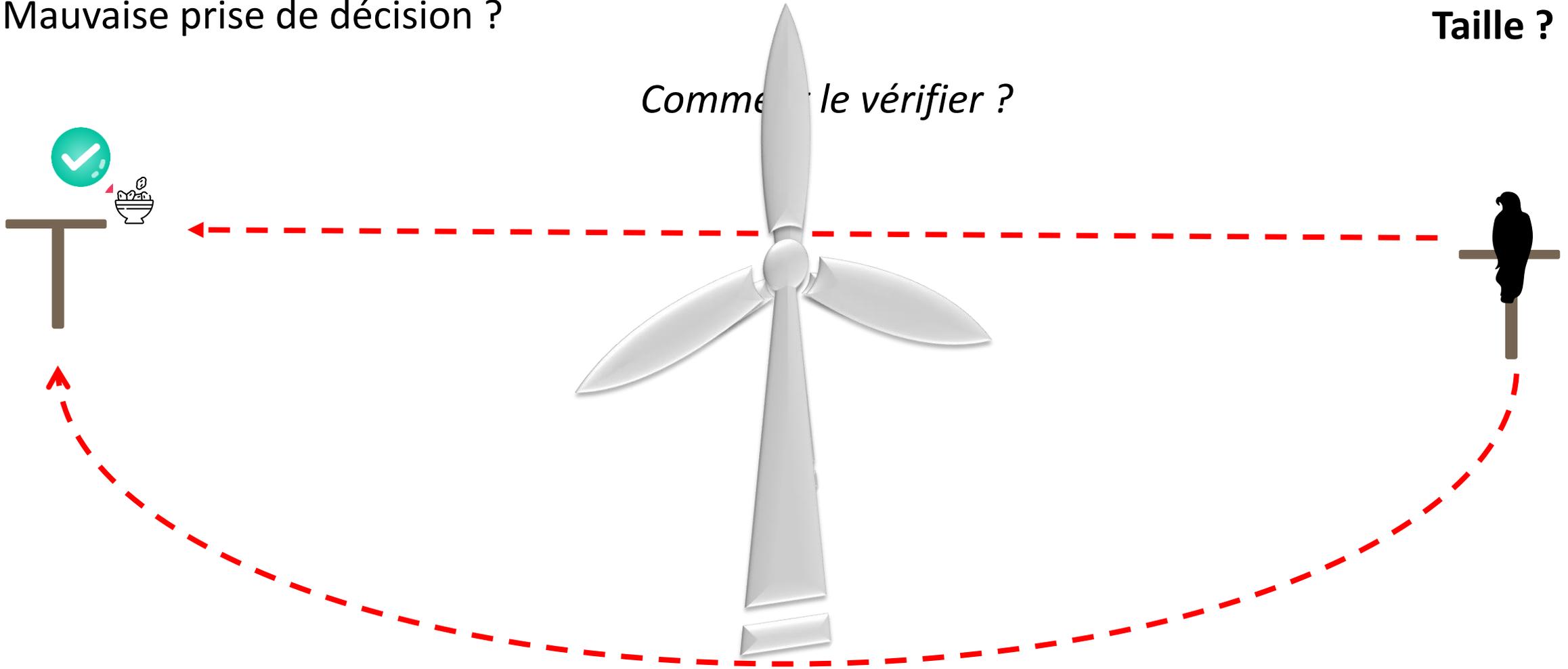


Et si les oiseaux perçoivent les éoliennes ?

Mauvaise prise de décision ?

Taille ?

Comment le vérifier ?

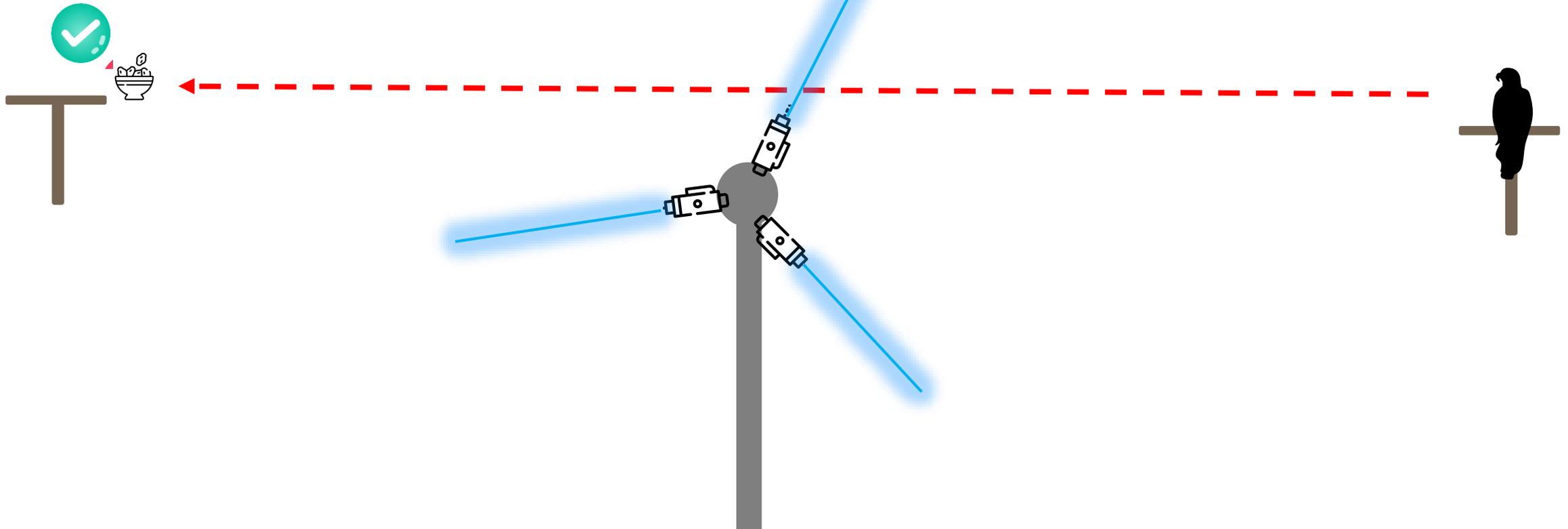


Et si les oiseaux perçoivent les éoliennes ?

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^{ème} 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

