Dans la dynamique d'un drone quadricoptère, la **force de poussée** est essentielle pour compenser la gravité et permettre au drone de décoller, se maintenir en vol stationnaire ou changer d'altitude. Cette section examine précisément la manière dont cette force de poussée est générée, et comment elle interagit avec la gravité pour déterminer le mouvement vertical du drone.

1. **Forces Verticales : Poussée et Gravité**

**1.1 Poussée Générée par les Moteurs**

Chaque moteur d’un quadricoptère entraîne une hélice, qui, en tournant, génère une poussée vers le haut. La poussée produite par une hélice est proportionnelle à la vitesse de rotation ​ du moteur, au carré, et à la constante de poussée ​, qui dépend de la conception de l’hélice et du moteur.

La poussée générée par le moteur iii est donnée par la formule suivante :

où :

* est la force de poussée produite par le moteur i,
* est la constante de poussée, une caractéristique liée au moteur et à l'hélice (elle dépend de la forme de l'hélice et de ses caractéristiques aérodynamiques),
* ​ ​est la vitesse angulaire de l'hélice du moteur i en radians par seconde.

L'ensemble des forces de poussée se combine pour générer une force de poussée totale vers lehaut, , qui détermine le mouvement vertical du drone. Cette poussée est dirigée le long de l'axe vertical du drone (axe z).

**1.2 Somme des Forces Verticales**

Dans un drone quadricoptère, pour maintenir un vol stationnaire ou pour changer d’altitude, la somme des forces de poussée produites par les quatre moteurs doit équilibrer ou surpasser la force de gravité. La force de gravité, notée , tire toujours le drone vers le bas, où :

* **m** est la masse totale du drone,
* **g** est l’accélération gravitationnelle qui est d’environ

La force nette verticale ​ qui agit sur le drone est donc la différence entre la somme des forces de poussée générées par les moteurs et la force de gravité :

Ainsi, lorsque , le drone est en vol stationnaire (l'accélération verticale est nulle), c’est-à-dire que la force de poussée totale est exactement égale au poids du drone. Si , le drone monte, et si , le drone descend.

1. **Traînée Aérodynamique**

La traînée aérodynamique est une force qui agit dans la direction opposée au mouvement d'un objet lorsqu'il se déplace dans un fluide, comme l'air dans le cas d'un drone. Cette force résulte des interactions entre les surfaces du drone et l'air environnant. La traînée aérodynamique est un facteur crucial dans la dynamique des drones car elle limite leur vitesse et consomme de l'énergie supplémentaire, influençant ainsi l'efficacité globale du système.

Modélisation de la Traînée Aérodynamique

La traînée aérodynamique est souvent modélisée comme une fonction quadratique de la vitesse relative du drone par rapport à l’air. Elle est exprimée par la formule :

où :

* est le coefficient de traînée, une constante qui dépend de la forme, de la surface exposée au vent, et des propriétés aérodynamiques du drone,
* est la vitesse relative du drone par rapport à l'air (ou la vitesse de vol).

La force de traînée ​ est négative car elle agit toujours dans la direction opposée au mouvement, ralentissant le drone.

* 1. **Coefficient de Traînée (​)**

Le coefficient de traînée ​ représente l'efficacité aérodynamique de l'objet et dépend de plusieurs facteurs :

* La forme du drone : un drone aux surfaces anguleuses et non profilées générera une traînée plus importante.
* La surface frontale (ou aire projetée) : plus la surface exposée au vent est grande, plus la traînée est importante.
* La vitesse de vol : à mesure que la vitesse du drone augmente, la traînée augmente de manière quadratique.

Nous avons choisi un coefficient de traînée pour notre quadricoptère, en nous basant sur des valeurs typiques observées dans la littérature pour des UAVs de taille similaire, prenant en compte les caractéristiques aérodynamiques et les formes généralement rencontrées dans ce type de conception.

**3. Moments de Rotation : Contrôle de l'Attitude**

Les moments de rotation jouent un rôle crucial dans le contrôle de l'attitude d'un drone. Ces moments permettent d'orienter le drone autour de trois axes : le roulis (axe X), le tangage (axe Y), et le lacet (axe Z). En ajustant la poussée relative des moteurs, le pilote peut manipuler l'orientation du drone, essentielle pour le vol stable et la navigation.

**3.1 Moment de Roulis (​)**

Le moment de roulis ​ est produit par une différence de poussée entre les moteurs gauche et droit du drone. Il agit pour faire basculer le drone de gauche à droite.

* : distance entre le centre de masse du drone et les moteurs.
* **​** et **​** : forces générées par le moteur avant droit et le moteur arrière gauche respectivement.
* ​, le drone bascule vers la droite.
* ​, le drone bascule vers la gauche.

**3.2 Moment de Tangage (​)**

Le moment de tangage ​ contrôle l'inclinaison du drone vers l'avant ou l'arrière. Il est provoqué par la différence de poussée entre les moteurs avant et arrière.

**Formule** :

* **​** et **​** : forces générées par le moteur avant gauche et le moteur arrière droit respectivement
* ​, le drone s'incline vers l'avant.
* ​, le drone s'incline vers l'arrière.

**2.3 Moment de Lacet (​)**

Le moment de lacet ​ est la rotation autour de l'axe vertical et est contrôlé par les différences de couple générées par les moteurs tournant dans des directions opposées.

**Formule** :

* **​** : constante de couple, qui dépend des caractéristiques des hélices et des moteurs.
* **​** : vitesse angulaire du moteur .
* Les moteurs tournant dans des directions opposées (horaires et antihoraires) créent un couple.
* Si, par exemple, les moteurs avant gauche et arrière droit tournent plus vite que les autres, le drone tournera vers la droite.

**4. Équations de moment**

Les équations pour les moments autour des axes , , et sont données par :

Où , et représentent respectivement les moments d'inertie autour des axes , et , tandis que , et sont les vitesses angulaires autour de ces axes, et , , sont les moments correspondants.

Ixx = 2 masse moteur \* l^2

Iyy = 2 masse moteur \* l^2

Izz = 4 masse moteur \* l^2

Les équations dynamiques pour les angles de roulis (ϕ), de tangage (θ) et de lacet (ψ) sont exprimées comme suit :

Où :

* Est le moment d'inertie du rotor,
* Est la vitesse angulaire résultante du rotor, définie par :

Jr = integrale ( r^2 ) dm = ½ masse helice \* R^2

Les forces , et sont des moments résultant des forces agissant sur les moteurs, et sont données par :

Où , , , représentent les forces générées par chaque moteur, sont les vitesses angulaires des hélices correspondantes, est la distance entre les moteurs et l'axe central du système, et est une constante liée au couple aérodynamique.