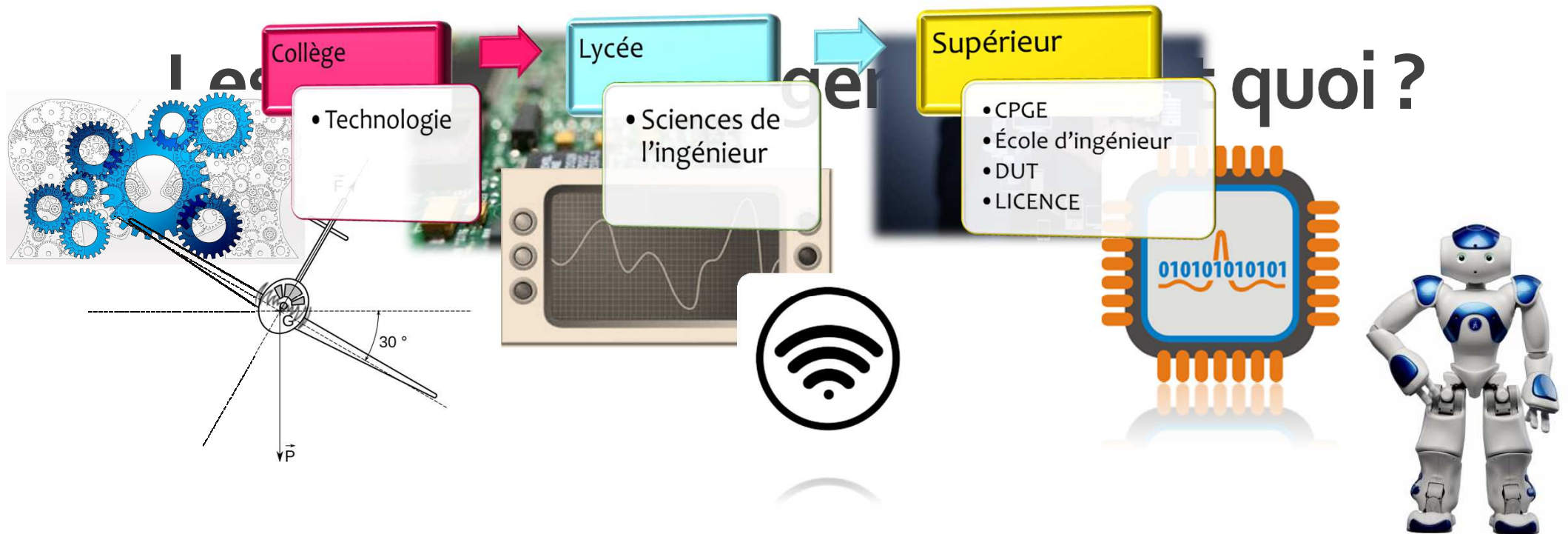


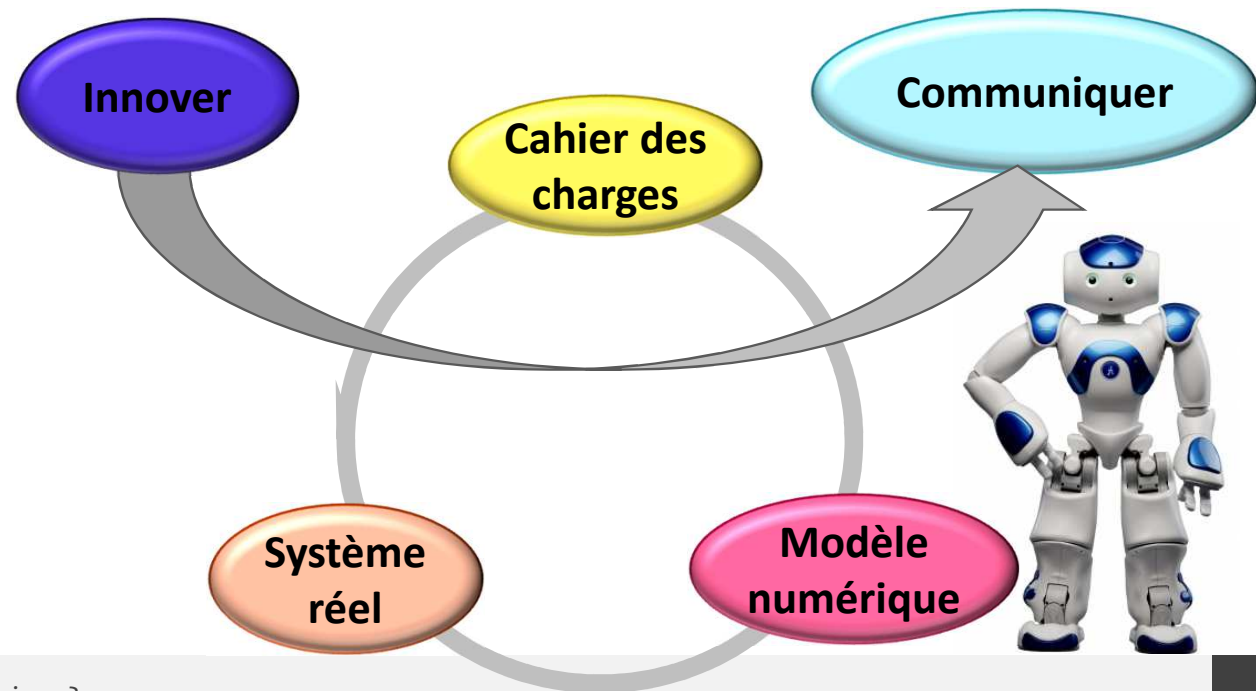
# LA DÉMARCHE DE L'INGÉNIEUR

# Un enseignement scientifique qui prépare à l'enseignement supérieur,



# Les sciences de l'ingénieur, c'est quoi ?

Un enseignement scientifique qui prépare à l'enseignement supérieur,  
Une démarche scientifique affirmée,

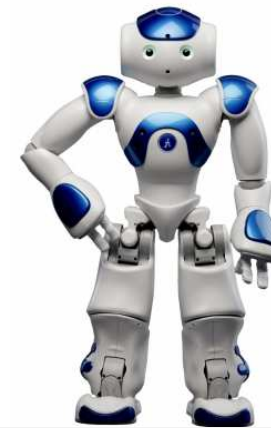


# Les sciences de l'ingénieur, c'est quoi ?

**Un enseignement scientifique qui prépare à l'enseignement supérieur,  
Une démarche scientifique affirmée  
Un enseignement de spécialité en classe de 1<sup>ère</sup> générale.**

4 heures  
en Première

6 heures  
en Terminale



# Les sciences de l'ingénieur, c'est quoi ?

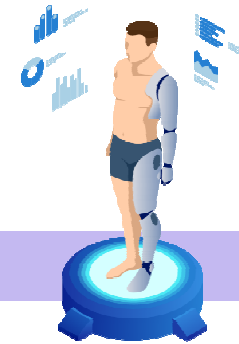
## Trois grandes thématiques sociétales

Les territoires et les produits intelligents, la mobilité des personnes et des biens

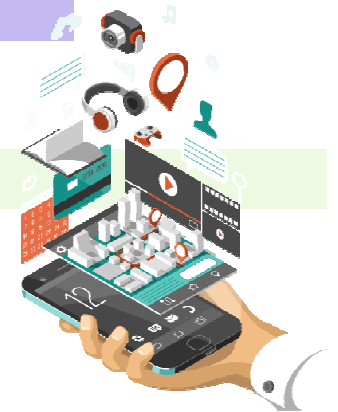
- les structures et les enveloppes ;
- les réseaux de communication et d'énergie ;
- les objets connectés, l'internet des objets ;
- les mobilités des personnes et des biens.



L'Humain assisté, réparé, augmenté



L'Éco-Design et le prototypage de produits innovants



# Les sciences de l'ingénieur, c'est quoi ?

## Trois grandes thématiques sociétales

- les mobilités des personnes et des biens.



### Les nouvelles mobilités urbaines :

- Les vélos électriques;
- Les trottinettes;
- Les mono-roues;
- Les rollers ;
- Les skates ;
- ...

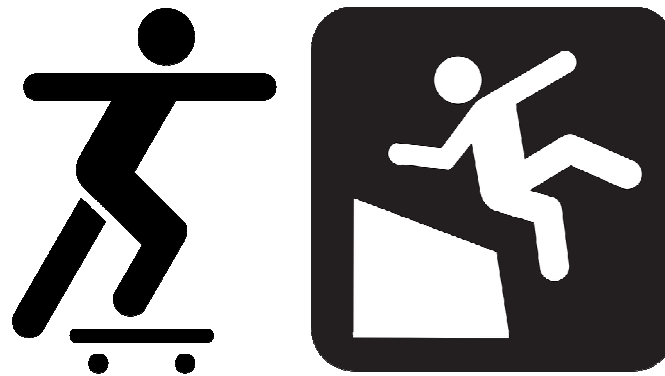


### Nécessité de sécuriser l'espace public :

→ Comment sécuriser l'usage d'un skateboard électrique ?



# La problématique



# La problématique

Expérience de l'utilisateur : *l'usage du skate peut s'avérer dangereux.*



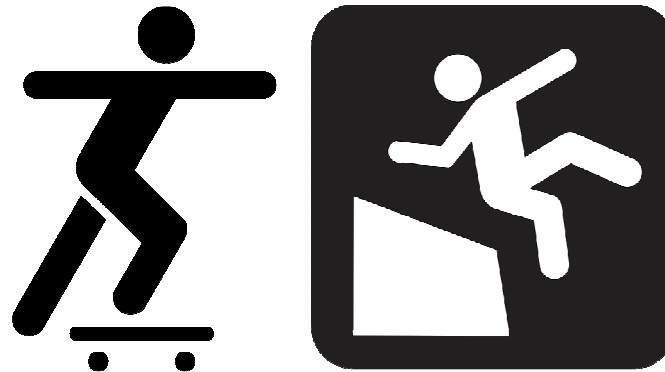
Besoin : *sécuriser l'usage du skateboard.*



Question : *comment éviter les chutes au démarrage ?*



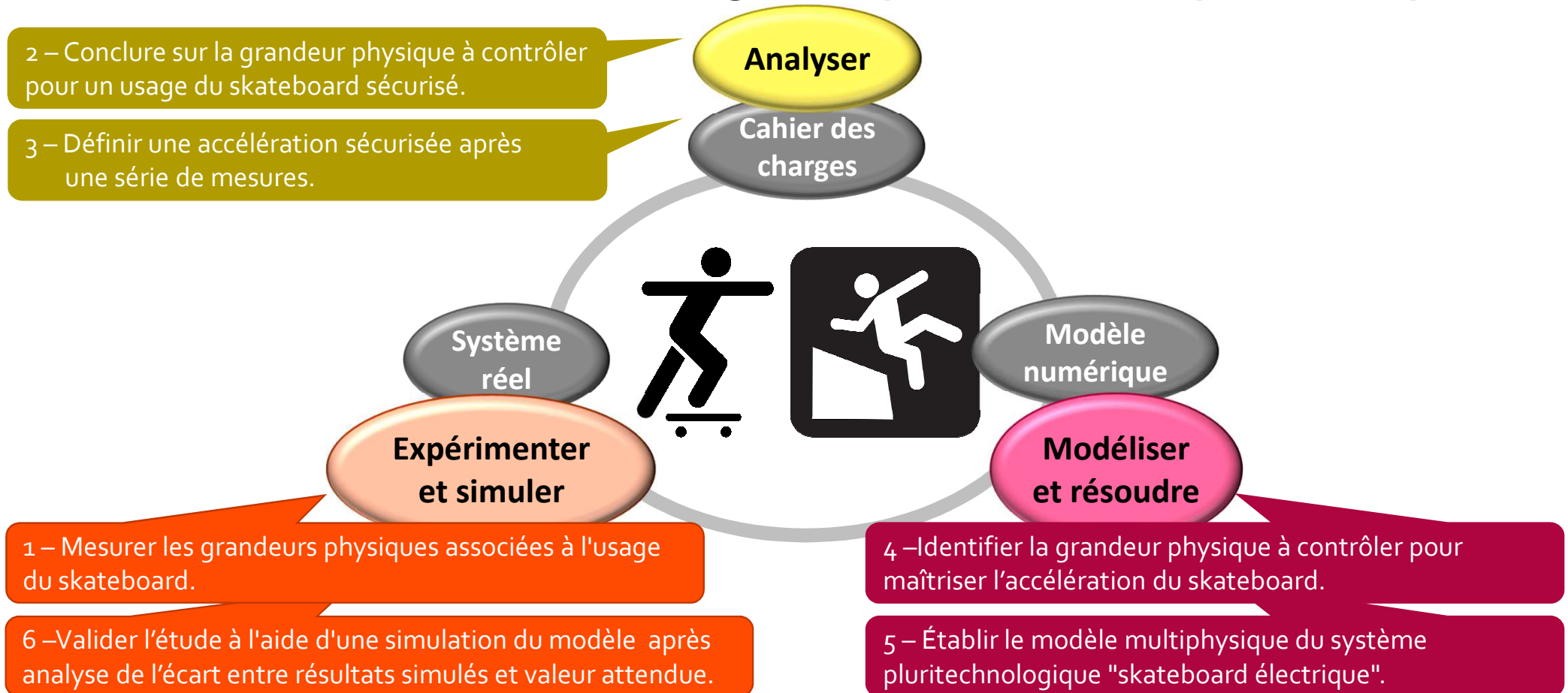
Problématique : ***comment modifier le système pluritechnologique "Skateboard électrique" de façon à sécuriser son usage ?***





# Objectif de la séance

Mettre en œuvre une démarche d'ingénierie pour résoudre la problématique.



# Objectif de la séance

**Mettre en œuvre une démarche d'ingénierie pour résoudre la problématique.**

## Prérequis, connaissances :

- Grandeurs physiques mobilisées par le fonctionnement d'un produit,  
Grandeurs d'effort et de flux liées à la nature des procédés.
- Trajectoires et mouvement , actions mécaniques transmissibles, de contact ou à distance, réciprocité mouvement relatif/actions mécaniques associées.
- Positions, vitesses et accélérations linéaire et angulaire sous forme vectorielle.
- Modèle associé aux composants élémentaires de transformation, de modulation, de conversion ou de stockage de l'énergie.

## Compétences mobilisées :

### Analyser :

- Analyser l'organisation matérielle d'un produit.

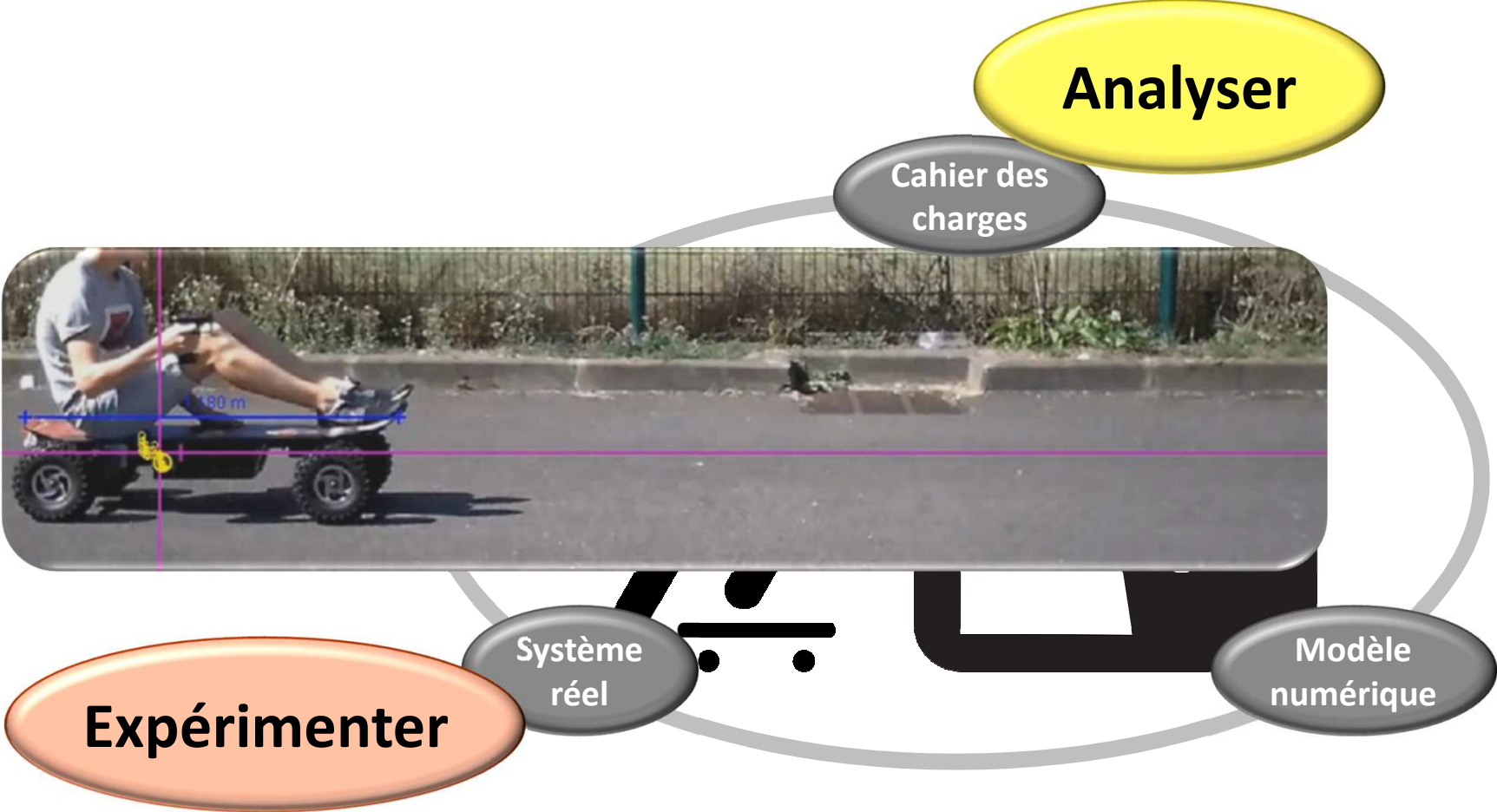
### Modéliser, résoudre :

- Modéliser les mouvements, modéliser les actions mécaniques.
- Associer un modèle aux composants d'une chaîne de puissance.
- Quantifier les écarts de performances entre les valeurs attendues, les valeurs mesurées et les valeurs obtenues par simulation.
- Associer un modèle à un système asservi
- Déterminer la grandeur effort (force ou couple) lorsque le mouvement souhaité est imposé

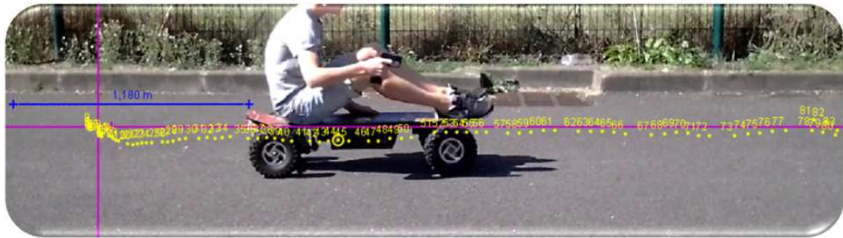
### Expérimenter et simuler :

- Conduire des essais en toute sécurité à partir d'un protocole expérimental fourni.

# Caractériser l'écart entre performance souhaitée et performance mesurée



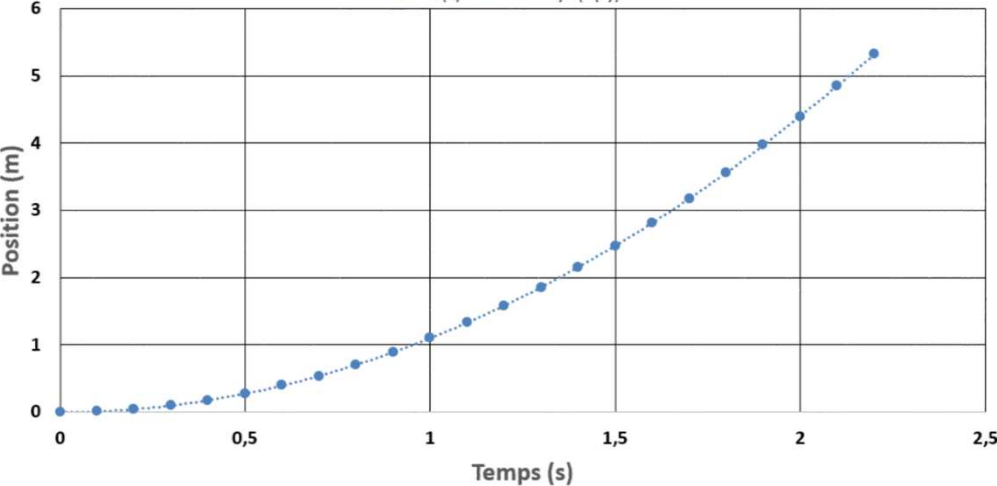
# Caractériser l'écart entre performance souhaitée et performance mesurée



Analyser

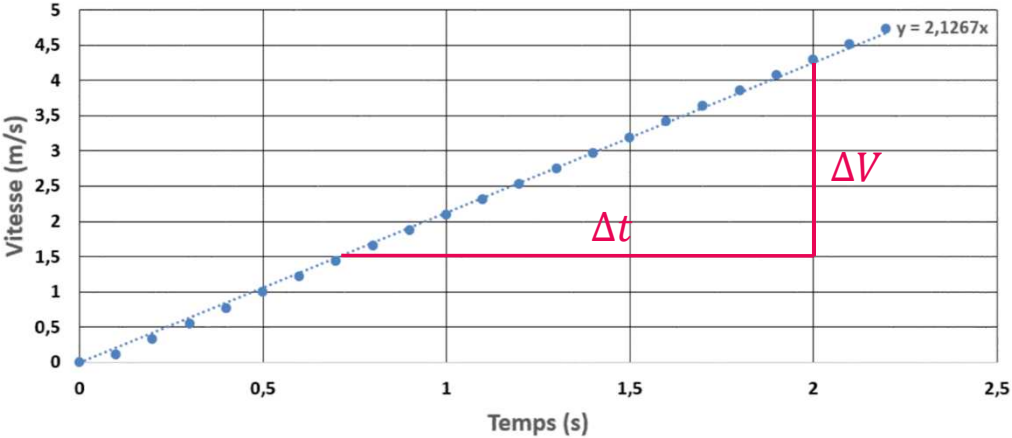
Position du skate en fonction du temps

•  $x(t)$  ..... Poly. ( $x(t)$ )



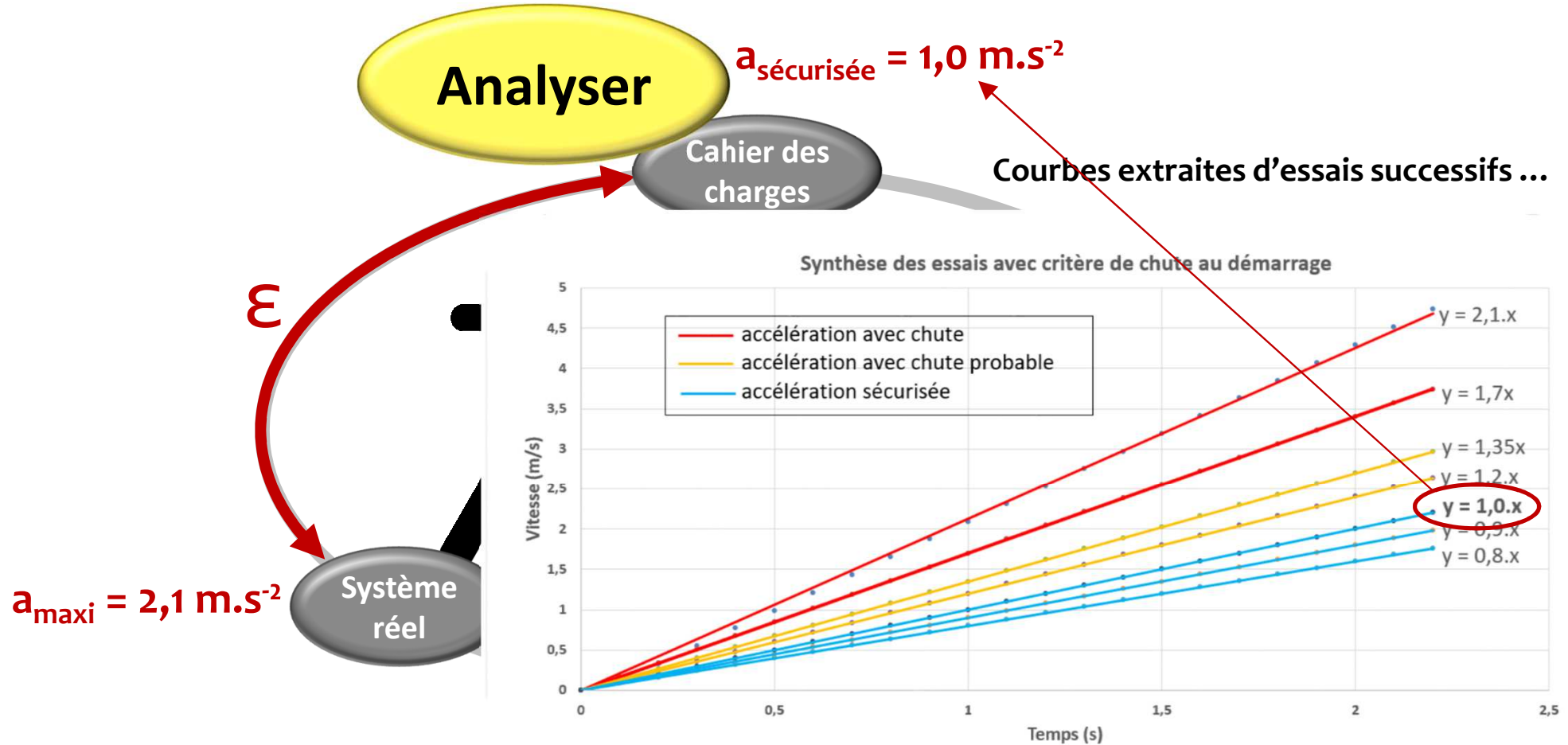
Vitesse du skate en fonction du temps

•  $v(t)$  ..... Linéaire ( $v(t)$ )



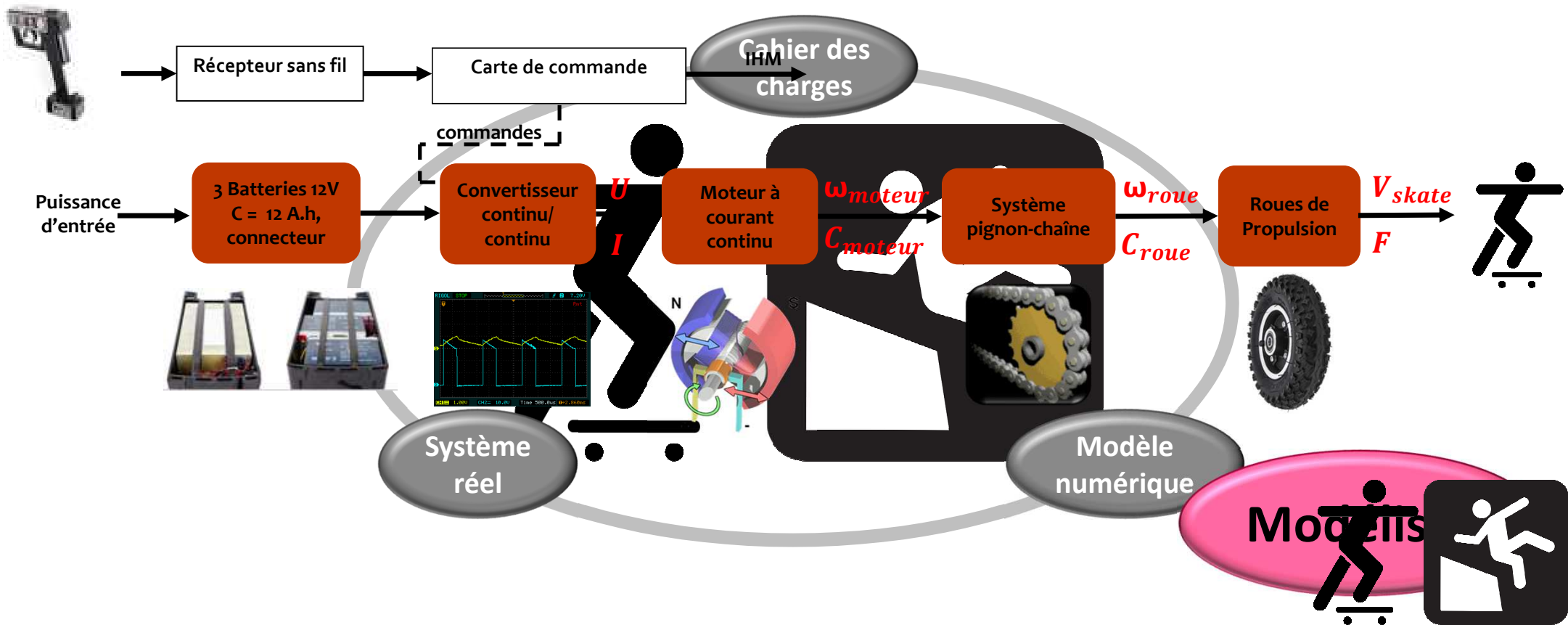
$accélération a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = 2,1 m.s^{-2}$

# Caractériser l'écart entre performance souhaitée et performance mesurée



# Identifier la grandeur physique à contrôler pour maîtriser l'accélération

Modélisation, d'un point de vue structurel ...



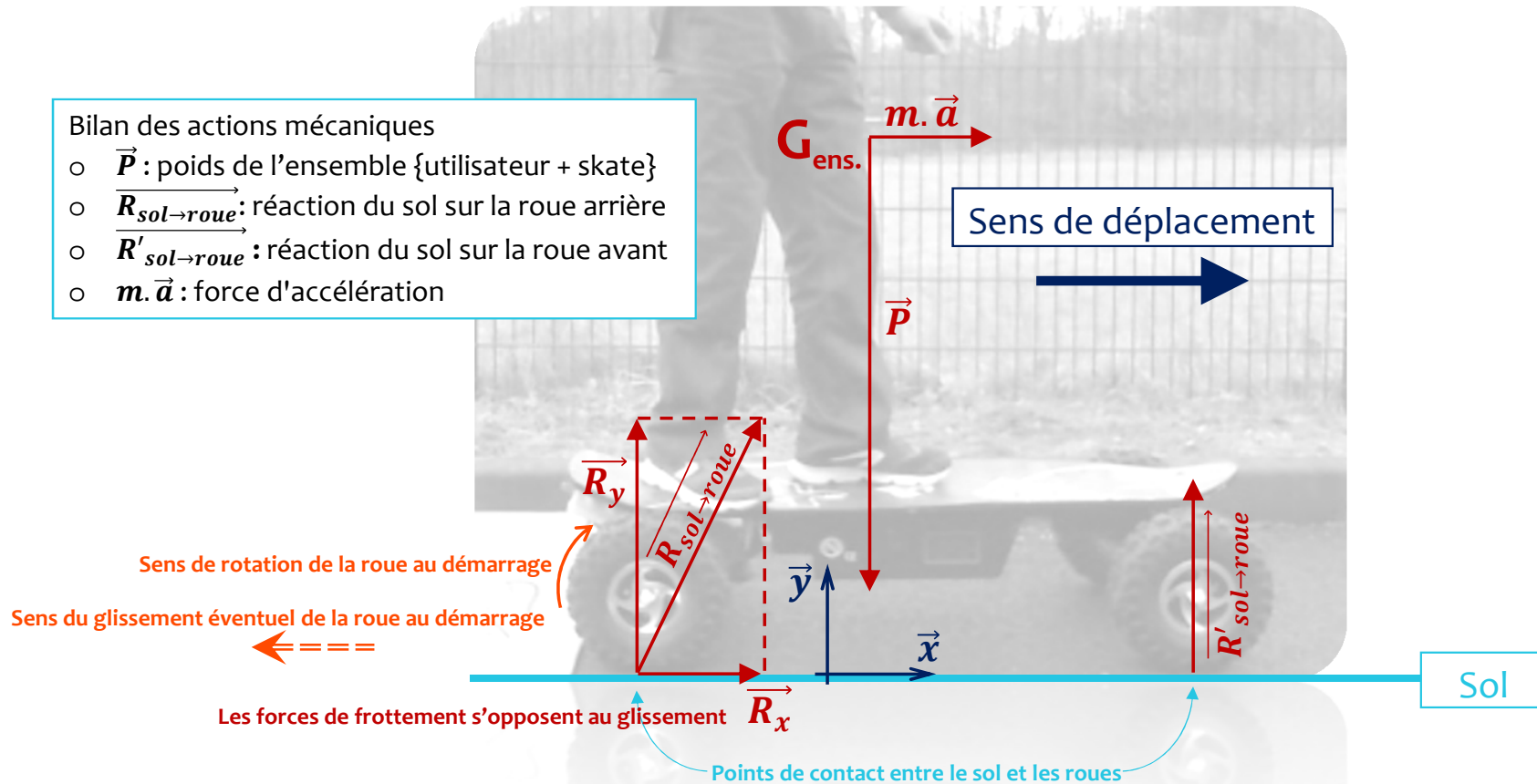
# Identifier la grandeur physique à contrôler pour maîtriser l'accélération



Modélisation, d'un point de vue des actions mécaniques ...

Bilan des actions mécaniques

- $\vec{P}$  : poids de l'ensemble {utilisateur + skate}
- $\vec{R}_{sol \rightarrow roue}$  : réaction du sol sur la roue arrière
- $\vec{R}'_{sol \rightarrow roue}$  : réaction du sol sur la roue avant
- $m \cdot \vec{a}$  : force d'accélération



# Identifier la grandeur physique à contrôler pour maîtriser l'accélération

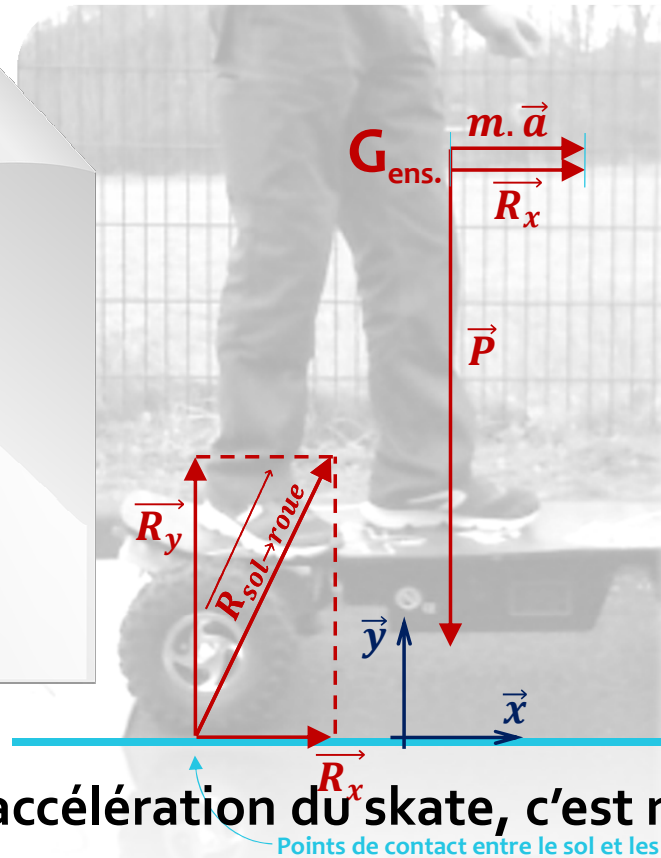
Modélisation, d'un point de vue des actions mécaniques ...



Deuxième loi de Newton  
(ou théorème du centre  
d'inertie) :

La somme vectorielle des forces  
appliquées à un objet est égale  
au produit de la masse de l'objet  
par son vecteur accélération.

$$\sum \vec{F}_{\text{extérieures}} = m \cdot \vec{a}$$



$$\vec{P} + \vec{R}_x + \vec{R}_y + \vec{R}'_{\text{sol} \rightarrow \text{roue}} = m \cdot \vec{a}$$

En projetant les vecteurs sur l'axe x, on obtient

$$R_x = m \cdot a$$

Contrôler l'accélération du skate, c'est maîtriser la force  $R_x$ .

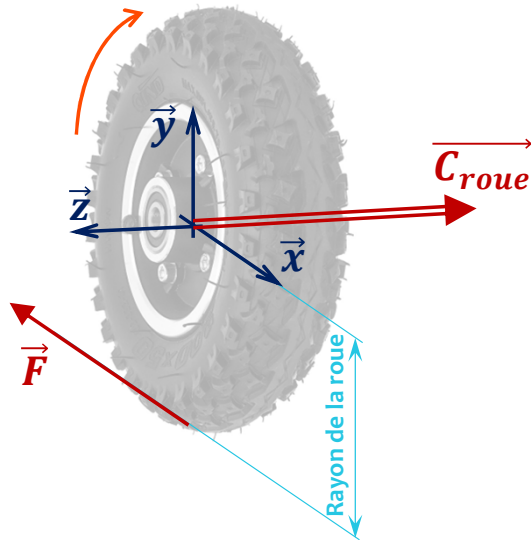
Points de contact entre le sol et les roues



# Identifier la grandeur physique à contrôler pour maîtriser l'accélération

La force tangentielle de la roue sur le sol, directement opposée à  $\vec{R}_x$  car  $\vec{F} = -\vec{R}_x$ , est liée au couple fourni par la roue.

Sens de rotation de la roue au démarrage



$\vec{C}_{roue}$  est en fait le moment de la force  $\vec{F}$ , égal au produit de la force et du rayon.

$$C_{roue} = F \times \frac{D_{roue}}{2}$$

# Identifier la grandeur physique à contrôler pour maîtriser l'accélération

La force tangentielle de la roue sur le sol, directement opposée à  $\vec{R}_x$  car  $\vec{F} = -\vec{R}_x$ , est liée au couple fourni par la roue.



$\vec{C}_{roue}$  est en fait le moment de la force  $\vec{F}$ , égal au produit de la force et du rayon.

$$C_{roue} = F \times \frac{D_{roue}}{2}$$

La transmission entre la roue et le moteur s'effectue par un système pignon-chaîne.

# Identifier la grandeur physique à contrôler pour maîtriser l'accélération

La force tangentielle de la roue sur le sol, directement opposée à  $\vec{R}_x$  car  $\vec{F} = -\vec{R}_x$ , est liée au couple fourni par la roue.



$\vec{C}_{roue}$  est en fait le moment de la force  $\vec{F}$ , égal au produit de la force et du rayon.

$$C_{roue} = F \times \frac{D_{roue}}{2}$$

Au rendement près, le couple fourni par le moteur est liée au couple sur la roue par le rapport de transmission  $r$ .

# Identifier la grandeur physique à contrôler pour maîtriser l'accélération

La force tangentielle de la roue sur le sol, directement opposée à  $\vec{R}_x$  car  $\vec{F} = -\vec{R}_x$ , est liée au couple fourni par la roue.



$\vec{C}_{roue}$  est en fait le moment de la force  $\vec{F}$ , égal au produit de la force et du rayon.

$$C_{roue} = F \times \frac{D_{roue}}{2}$$

Si le rapport de transmission est défini tel que  $r = \omega_{moteur} / \omega_{roue}$ , alors :

$$C_{moteur} = \frac{C_{roue}}{r}$$

**Contrôler l'accélération du skate, c'est maîtriser le couple  $C_{moteur}$ .**

# Identifier la grandeur physique à contrôler pour maîtriser l'accélération

La force tangentielle de la roue sur le sol, directement opposée à  $\vec{R}_x$  car  $\vec{F} = -\vec{R}_x$ , est liée au couple fourni par la roue.



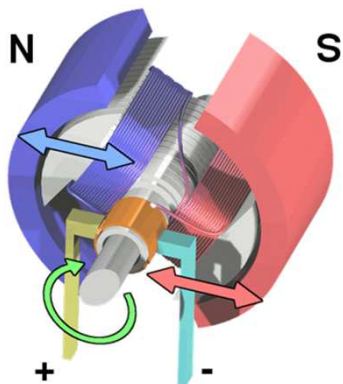
$\vec{C}_{roue}$  est en fait le moment de la force  $\vec{F}$ , égal au produit de la force et du rayon.

$$C_{roue} = F \times \frac{D_{roue}}{2}$$

Si le rapport de transmission est défini tel que  $r = \omega_{moteur} / \omega_{roue}$ , alors :

$$C_{moteur} = \frac{C_{roue}}{r}$$

Modélisation théorique du skate, d'un point de vue électrique ...



La constante de couple lie le couple moteur et l'intensité absorbée :

$$C_{moteur} = K_t \times I$$

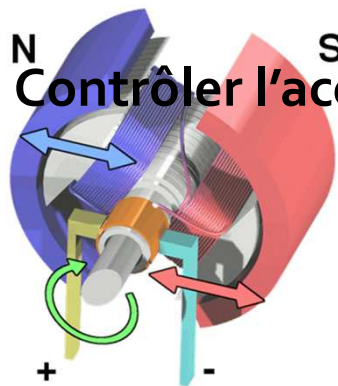
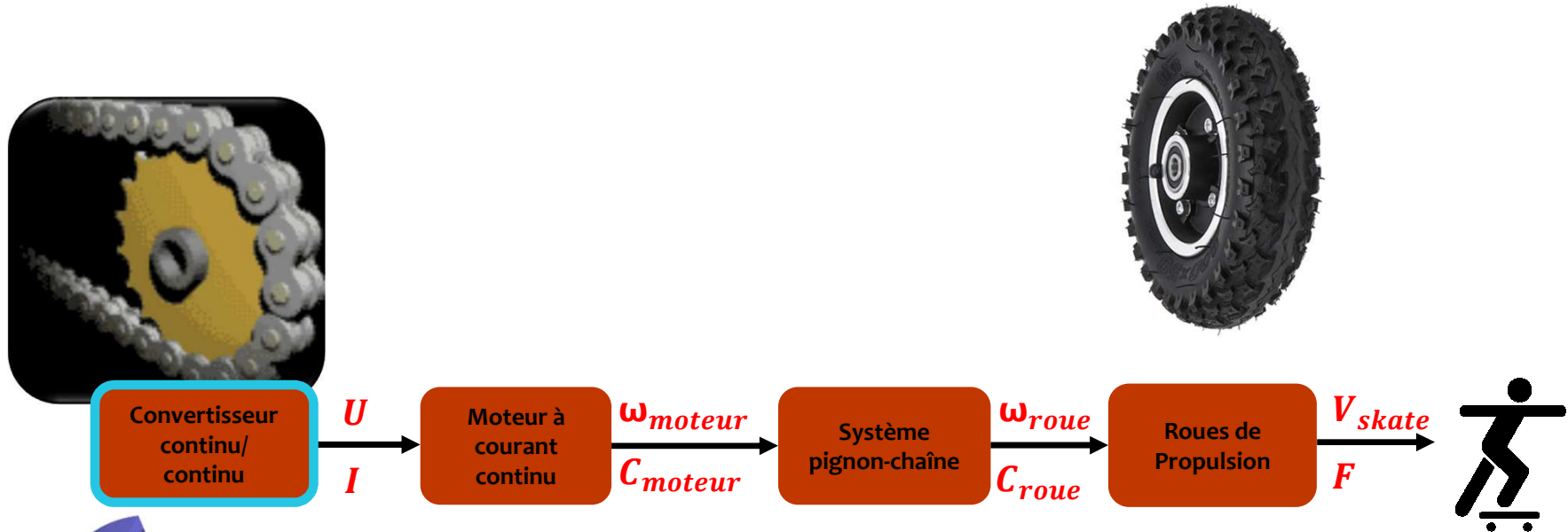
← Courant de l'induit

La relation électrique simplifiée aux valeurs moyennes du moteur s'écrit :

$$U = E + (R \times I)$$

**Pour contrôler le courant d'induit  $I$ , il faut agir sur l'alimentation du moteur.**

# Identifier la grandeur physique à contrôler pour maîtriser l'accélération



Contrôler l'accélération du skate, c'est maîtriser l'alimentation du moteur.

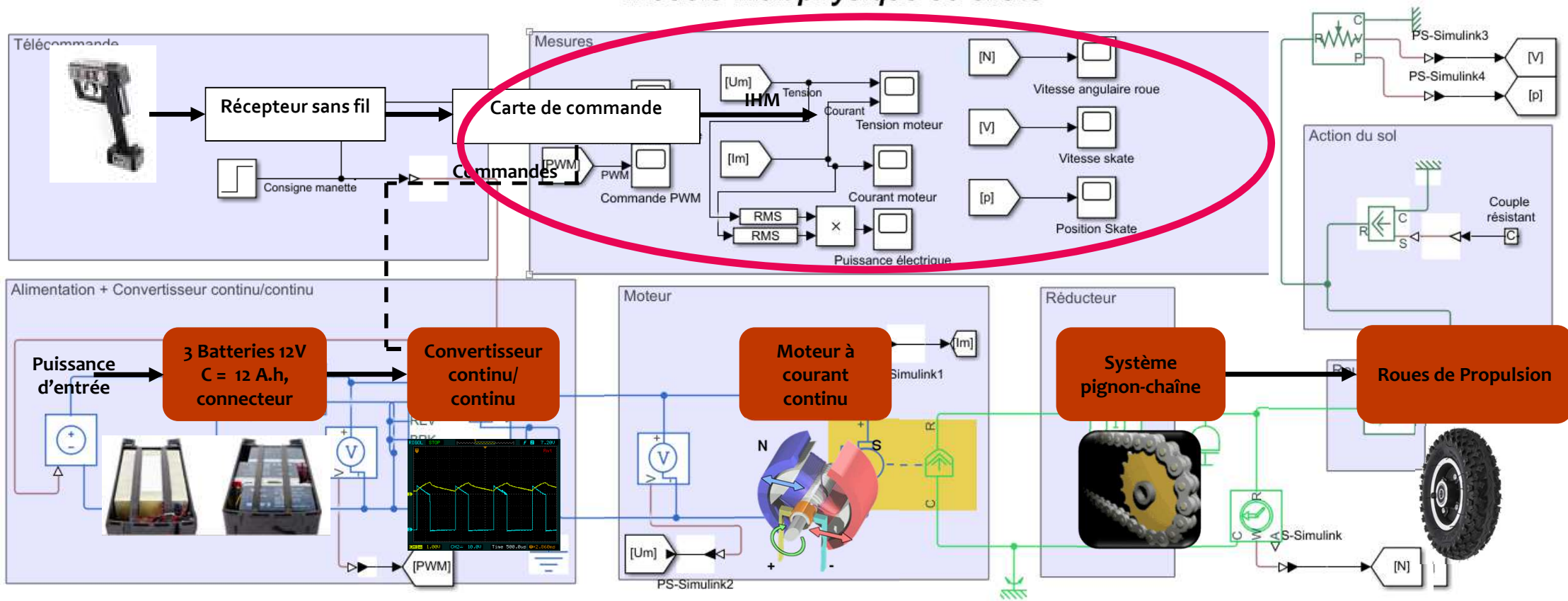
C'est le rôle du convertisseur continu / continu.

# Modéliser le modèle multiphysique avant modification

[https://frama.link/Simulink\\_Skate](https://frama.link/Simulink_Skate)

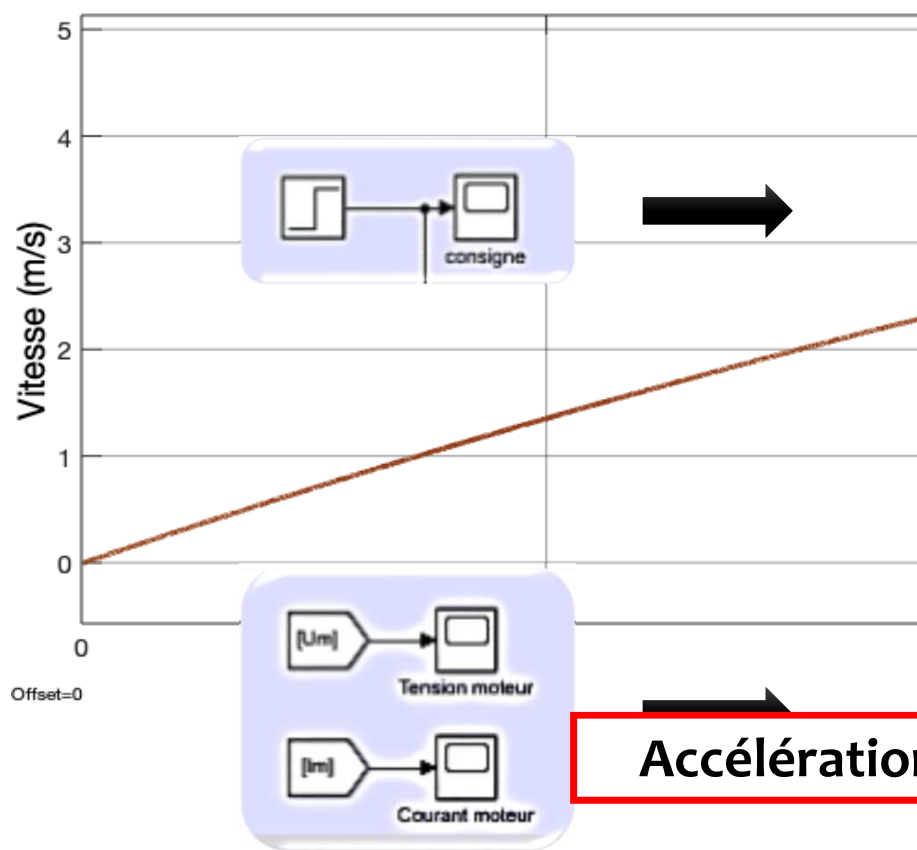


## Modèle multiphysique du skate

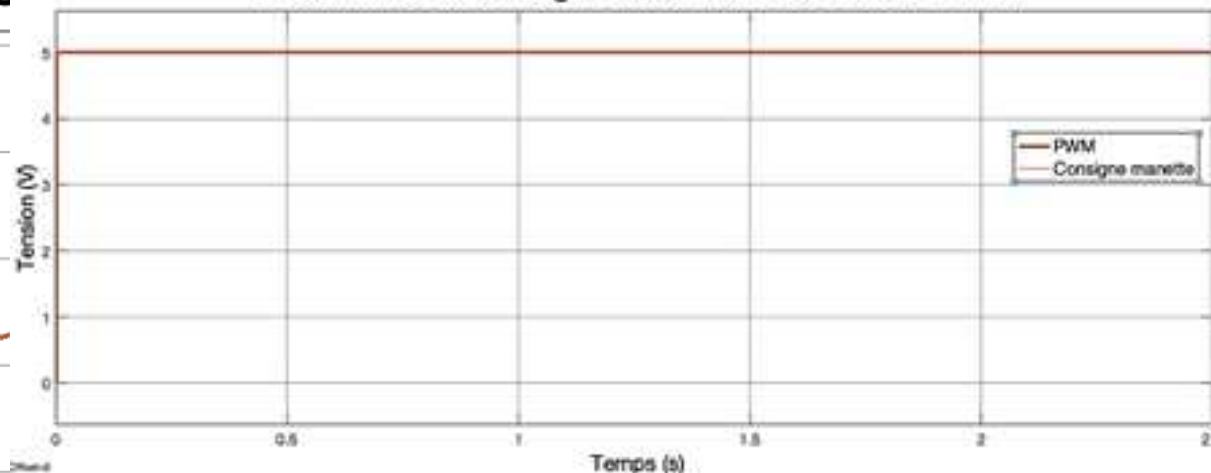


# Modéliser : résultats de la simulation avant modification

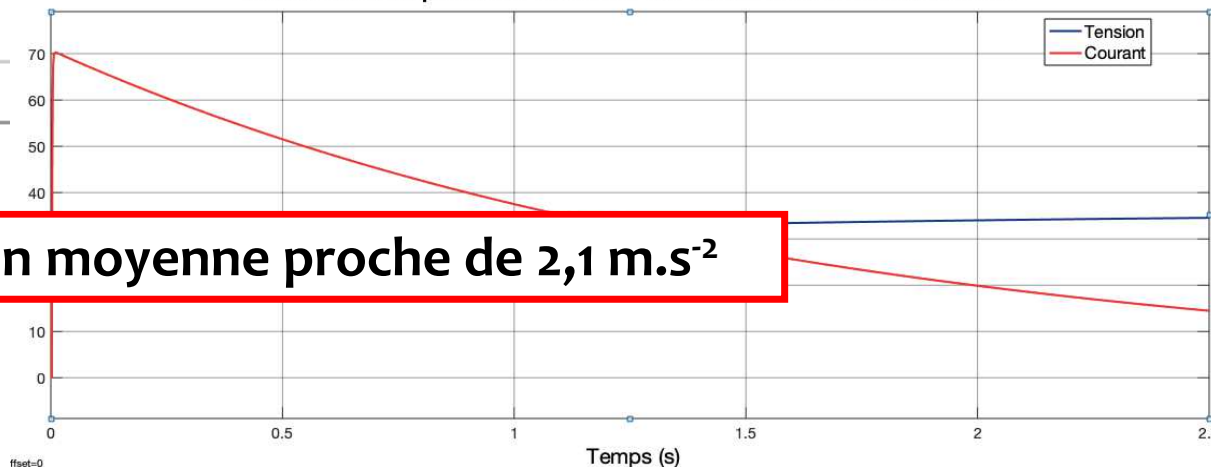
## Évolution de la vitesse



## Évolution de la consigne de la manette et de la PWM



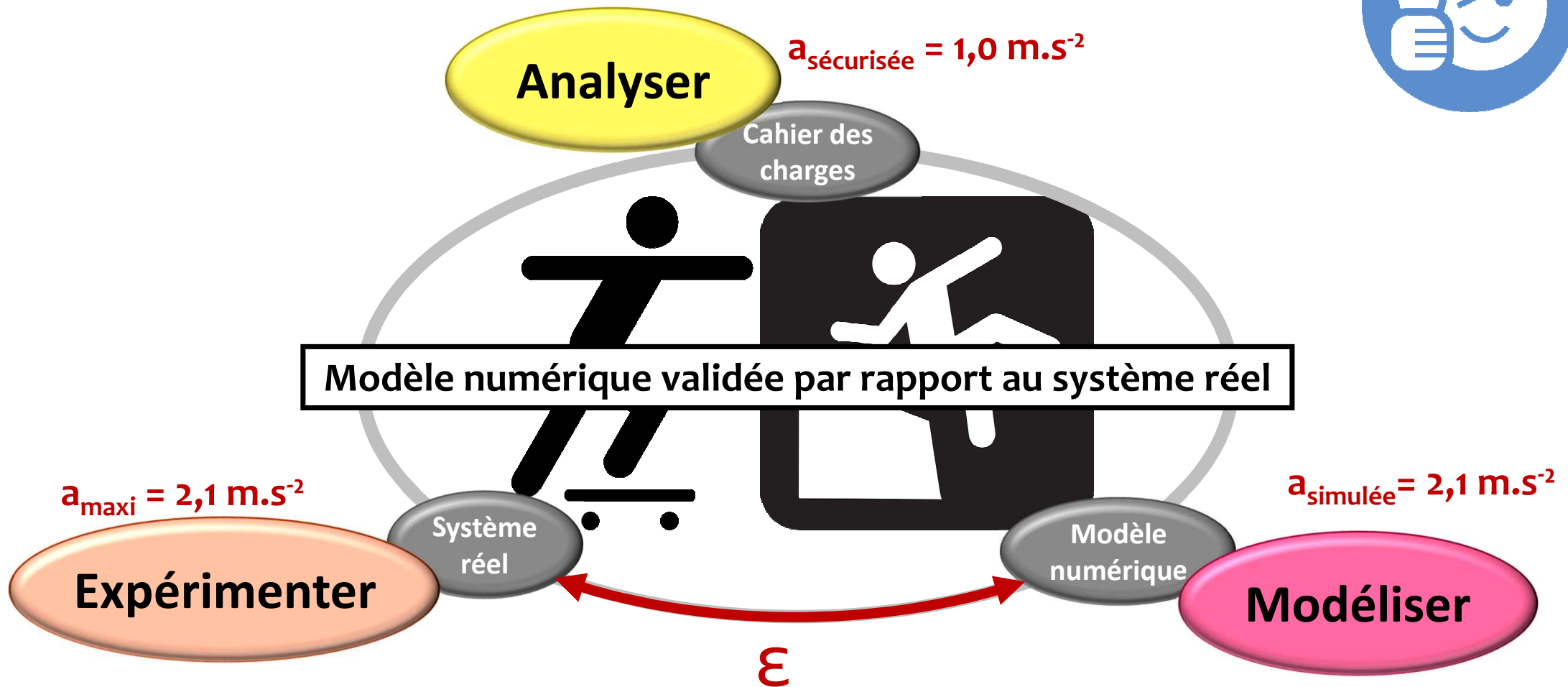
## Caractéristiques du moteur au cours de l'accélération



**Accélération moyenne proche de  $2,1 \text{ m.s}^{-2}$**

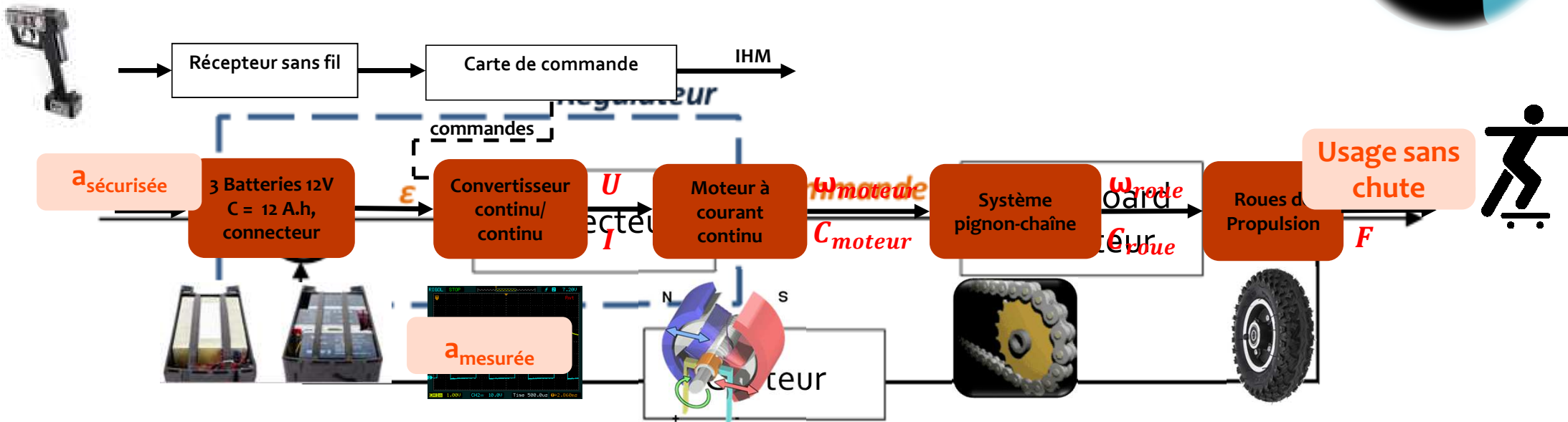


# Synthèse : résultats de la simulation



# Modéliser : modification du modèle multiphysique

Modification, d'un point de vue structurel ...

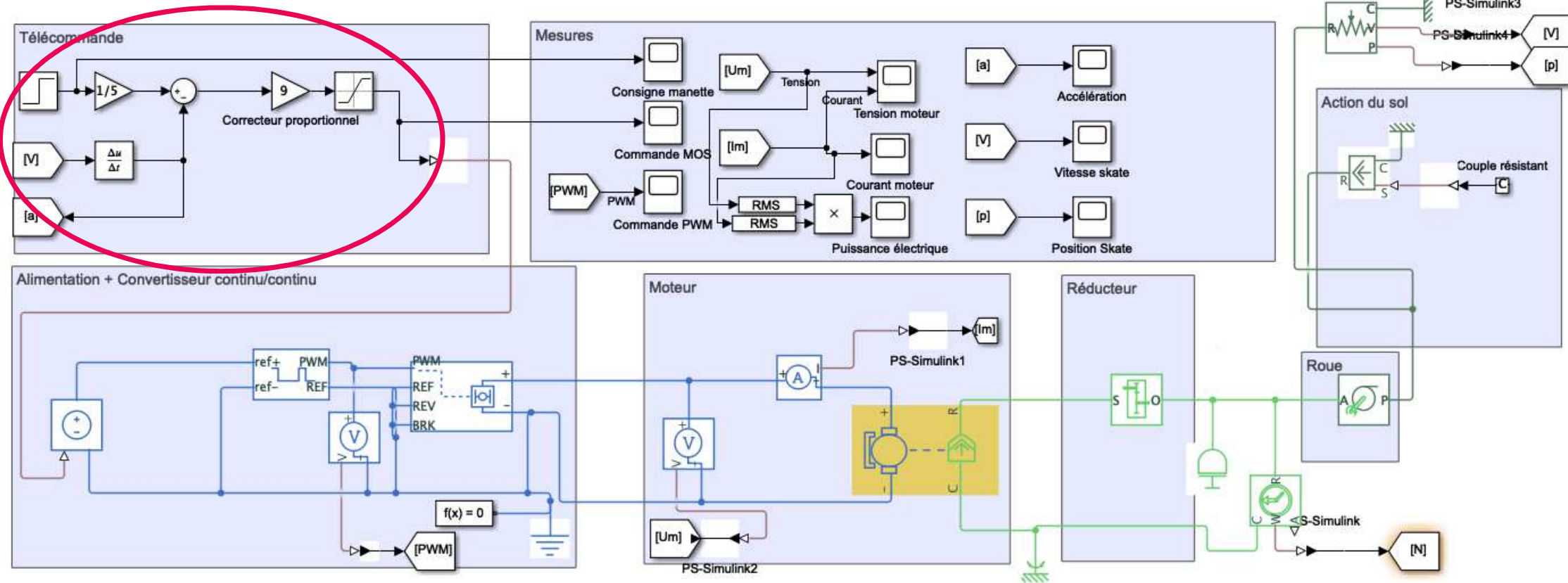


# Modéliser : modification du modèle multiphysique

[https://frama.link/Simulink\\_Skate\\_Modifie](https://frama.link/Simulink_Skate_Modifie)

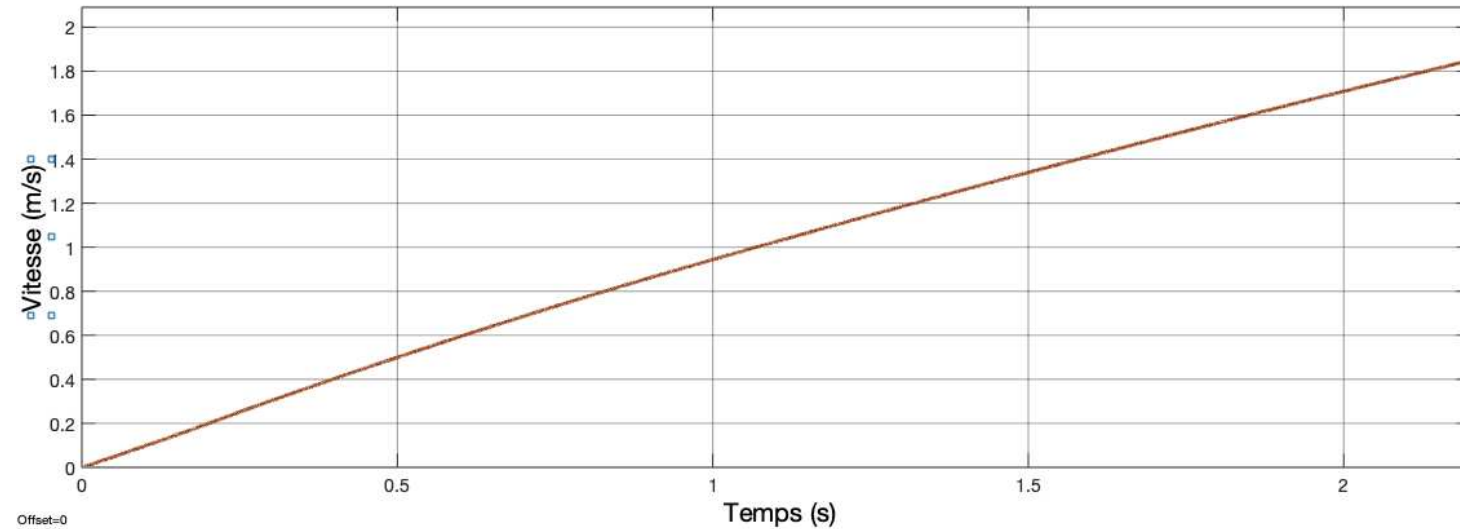


## Modèle multiphysique du skate



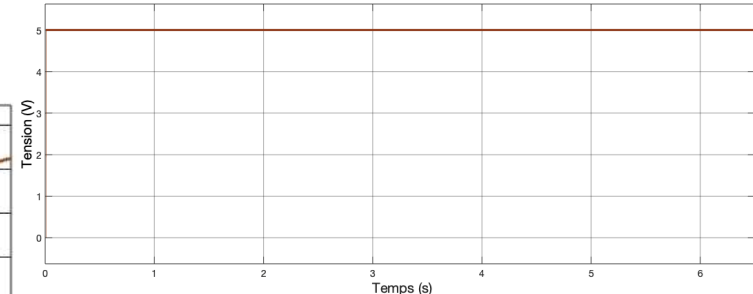
# Modéliser : résultats de la simulation (modèle modifié)

### Évolution de la vitesse au cours de l'accélération

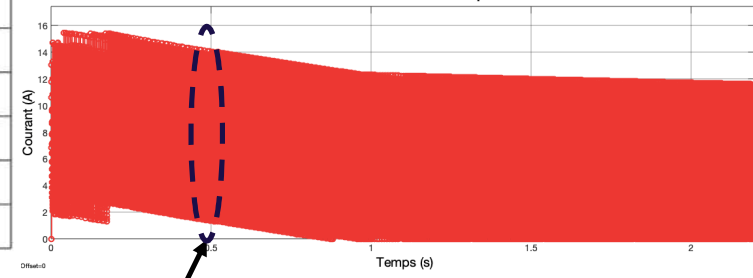


**Accélération moyenne de  $0,84 \text{ m.s}^{-2}$**

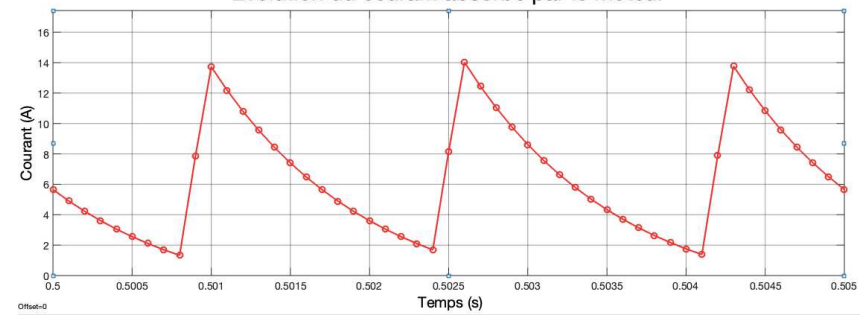
### Évolution de la consigne de la manette



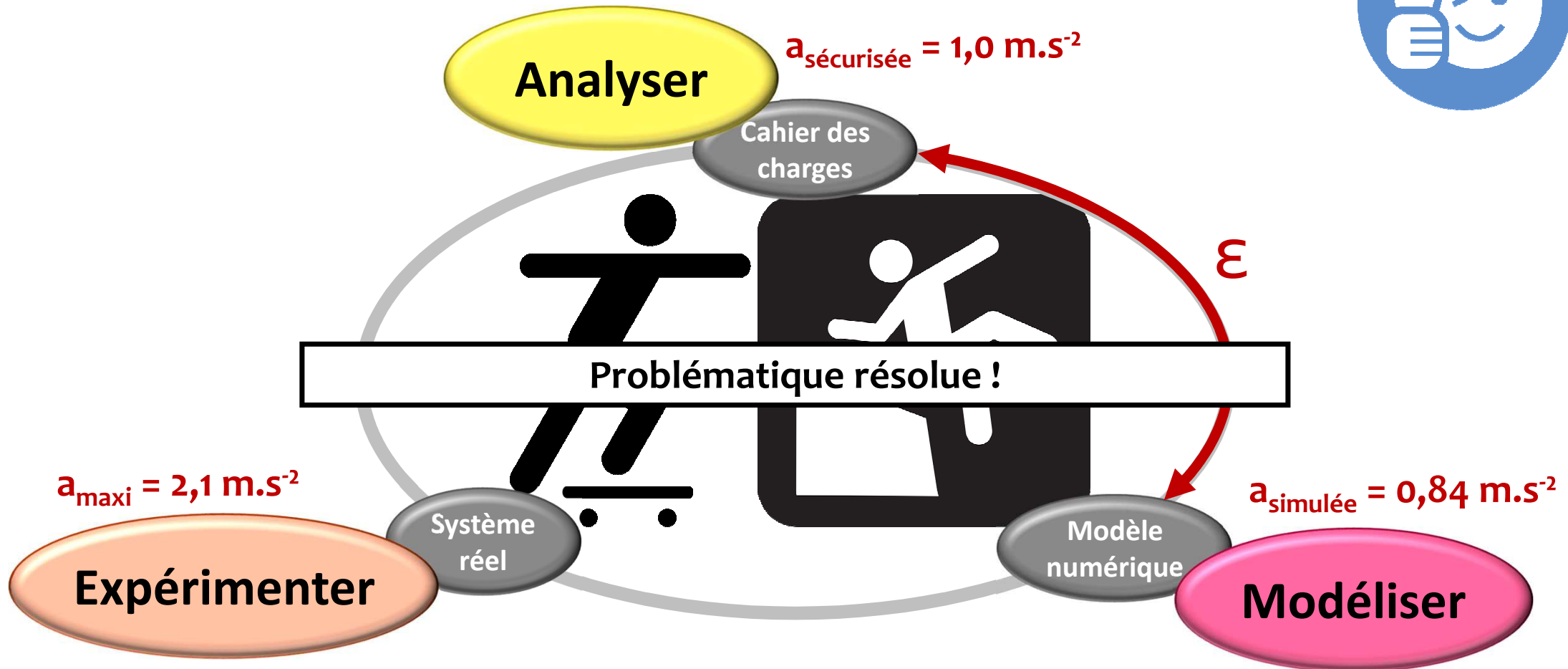
### Évolution du courant absorbé par le moteur



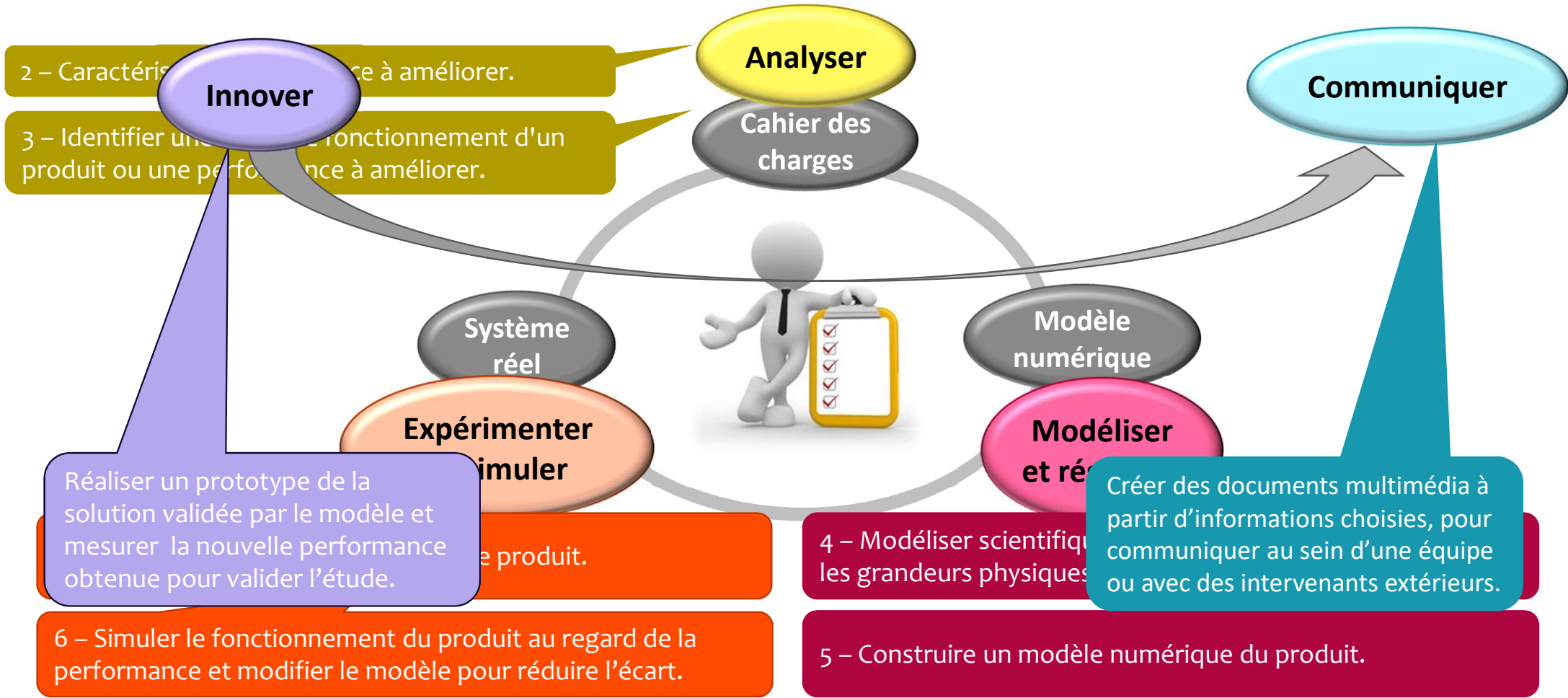
### Évolution du courant absorbé par le moteur



# Synthèse : résultats de la simulation



# Synthèse : la démarche des sciences de l'ingénieur



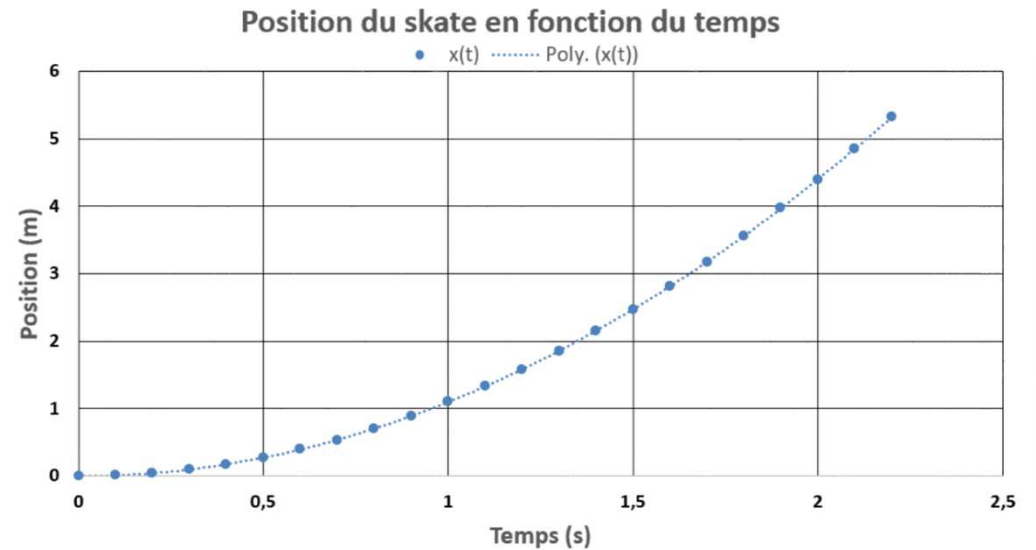
# Un Quiz ! La démarche des sciences de l'ingénieur



L'analyse de la vidéo ci-dessous nous a permis une mesure directe d'une grandeur physique. Laquelle ?



- La vitesse du skateboard en  $\text{m.s}^{-1}$
- La position du skateboard en m
- L'accélération du skateboard en  $\text{m.s}^{-2}$





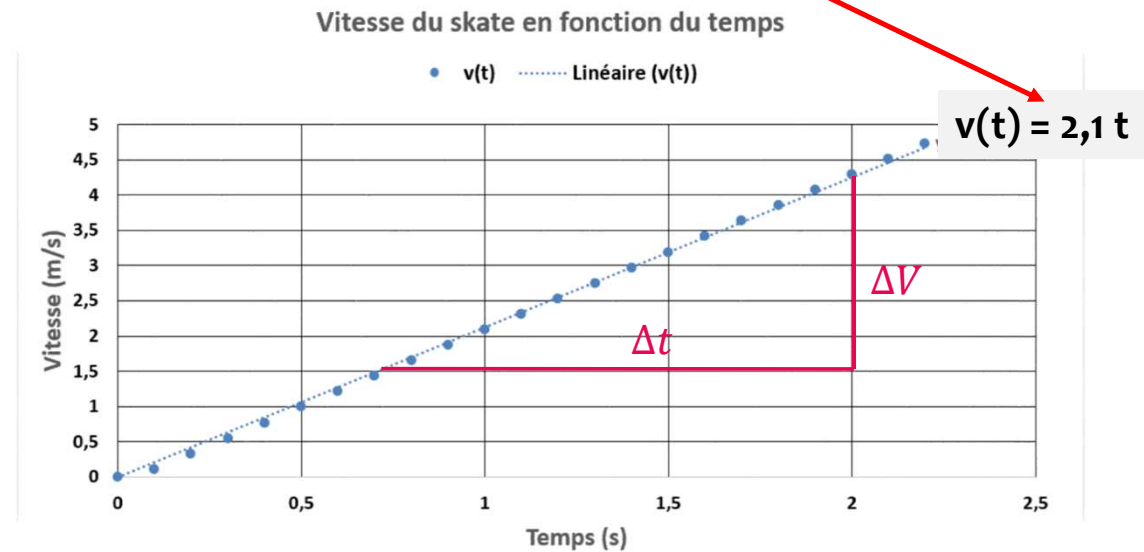
Sur le graphique ci-dessous, que représente la valeur 2,1 ?



2,1 m : la position du skateboard au bout de 2,2 s

2,1 m.s<sup>-1</sup> : la vitesse finale du skateboard

= 2,1 m.s<sup>-2</sup> 2,1 m.s<sup>-2</sup> : l'accélération du skateboard pendant la phase de démarrage



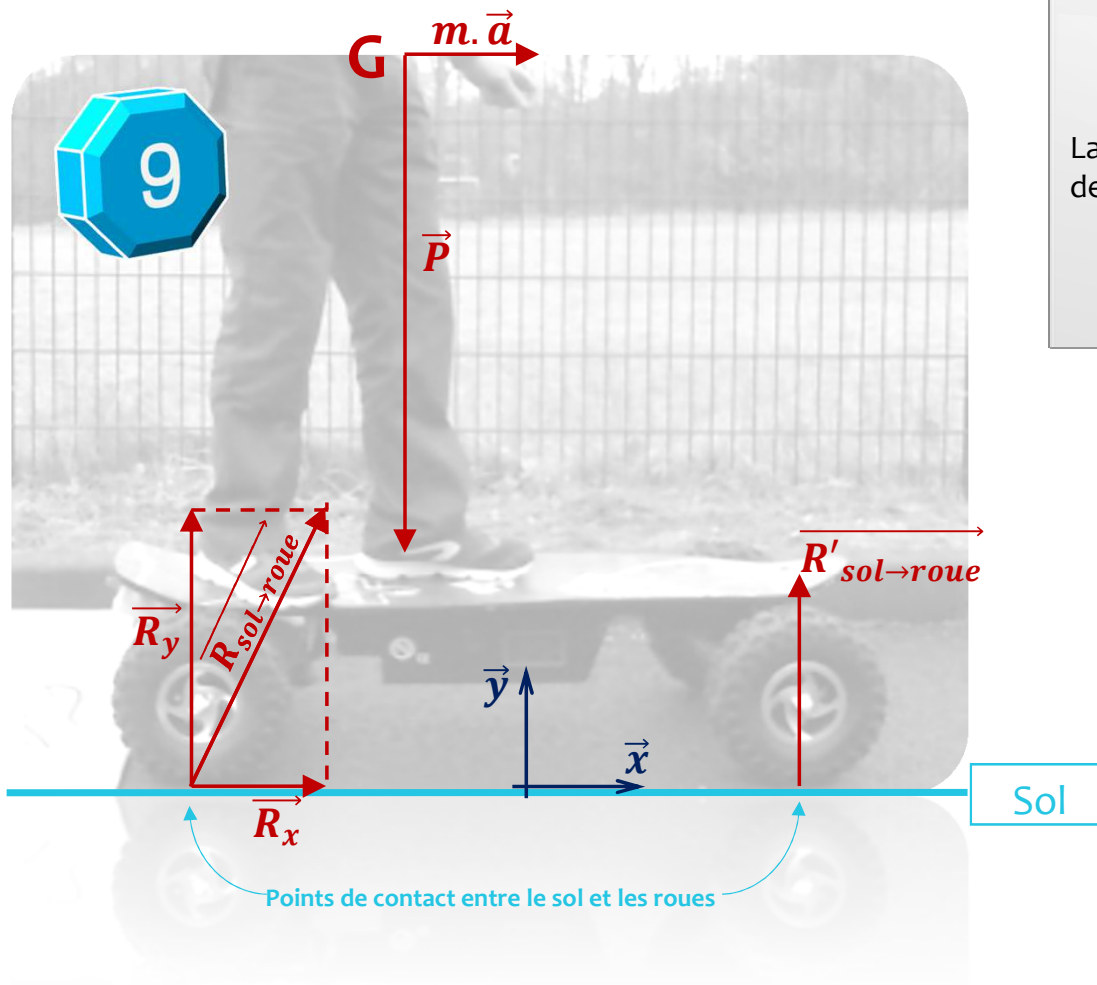
$$\text{accélération } a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = 2,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Le graphique représente la vitesse du skateboard en fonction du temps. L'accélération est la dérivée de la vitesse par rapport au temps :

$$a(t) = v'(t)$$

$$a = 2,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

# Quelle est la force qui contribue à l'accélération de l'ensemble « skate - skateur »?



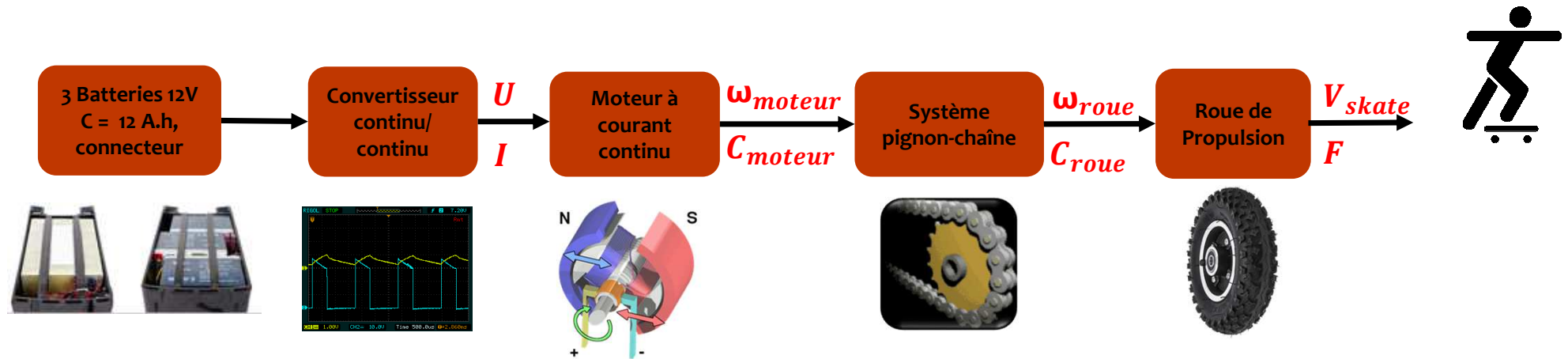
Deuxième loi de Newton  
(ou théorème du centre d'inertie) :

La somme vectorielle des forces appliquées à un objet est égale au produit de la masse de l'objet par son vecteur accélération.

$$\Sigma \vec{F}_{extérieures} = m \cdot \vec{a}$$

- Le poids  $\vec{P}$
- La composante de  $\vec{R}_{sol \rightarrow roue}$  suivant l'axe  $\vec{x}$
- La composante de  $\vec{R}_{sol \rightarrow roue}$  suivant l'axe  $\vec{y}$
- La réaction  $\vec{R}'_{sol \rightarrow roue}$

Quelle est la grandeur physique à contrôler en sortie du moteur pour maîtriser l'accélération de l'ensemble « skate – skateur »?



9

Le rendement du moteur

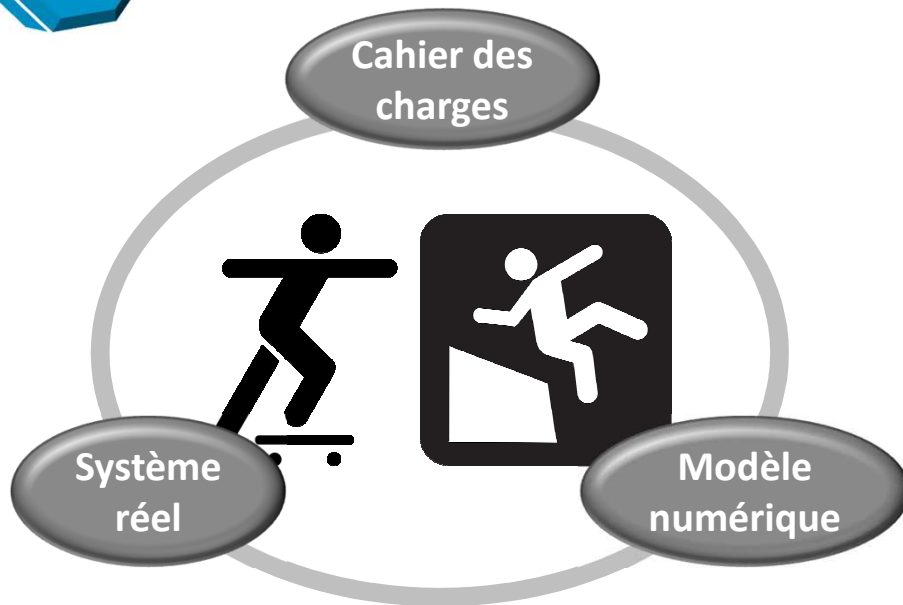


Le couple mécanique sur l'arbre du moteur

La vitesse de rotation de l'arbre du moteur

# Dans la démarche mise en œuvre comment a-t-on validé la proposition de solutions à la problématique étudiée?

9



- On a modifié le système réel pour valider le bon fonctionnement
- On a créé un nouveau prototype de skateboard électrique
- On a utilisé un modèle numérique puis analysé les résultats de simulation

# Un Quiz ! La démarche des sciences de l'ingénieur



## Question 1

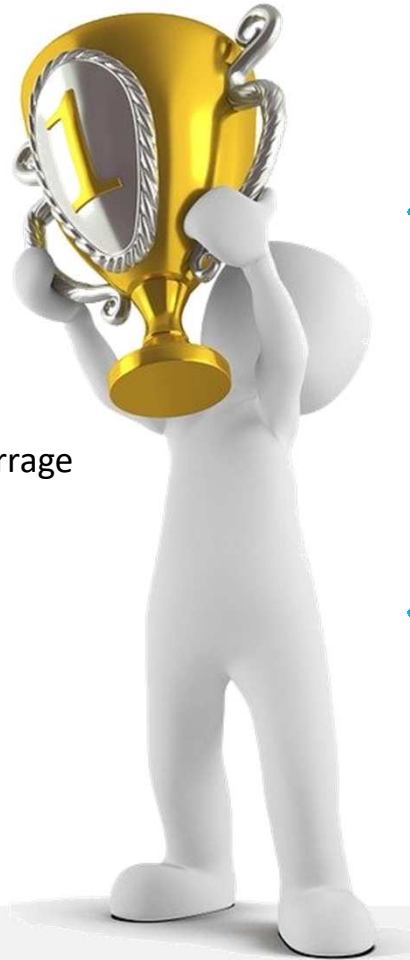
- La vitesse du skateboard en  $\text{m.s}^{-1}$
- La position du skateboard en m
- L'accélération du skateboard en  $\text{m.s}^{-2}$

## Question 2

- 2,1 m : la position du skateboard au bout de 2,2 s
- $2,1 \text{ m.s}^{-1}$  : la vitesse finale du skateboard
- $2,1 \text{ m.s}^{-2}$  : l'accélération pendant la phase de démarrage

## Question 3

- Le poids
- La composante de  $R_{\text{sol} \rightarrow \text{roue}}$  sur l'axe x
- La composante de  $R_{\text{sol} \rightarrow \text{roue}}$  sur l'axe y
- La réaction  $R'_{\text{sol} \rightarrow \text{roue}}$



## Question 4

- Le rendement du moteur
- Le couple mécanique sur l'arbre moteur
- La vitesse de rotation de l'arbre moteur

## Question 5

- Modification du système réel
- Création d'un nouveau prototype
- Utilisation d'un modèle numérique puis analyse

# Une démarche différente en STI2D

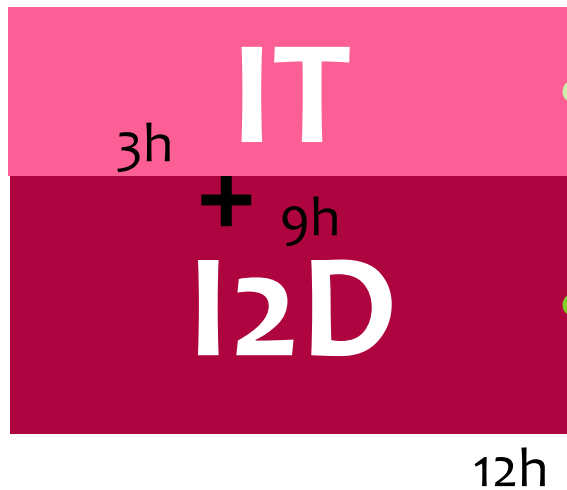


## LA VOIE TECHNOLOGIQUE

Première

STI2D

Deux spécialités d'enseignement technologique



Innovation Technologique (IT)

Répondre à un besoin à travers une approche active de mini projets

Ingénierie et Développement Durable (I2D)

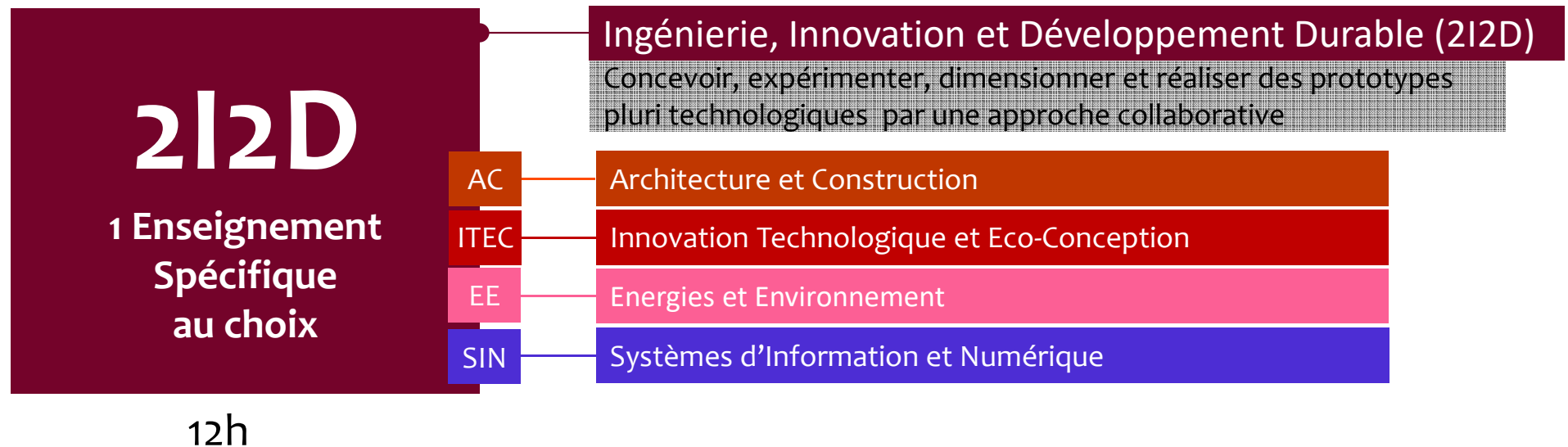
Prendre en compte l'exigence du développement durable à travers une approche expérimentale du triptyque MEI

# Une démarche différente en STI2D



Terminale  
STI2D

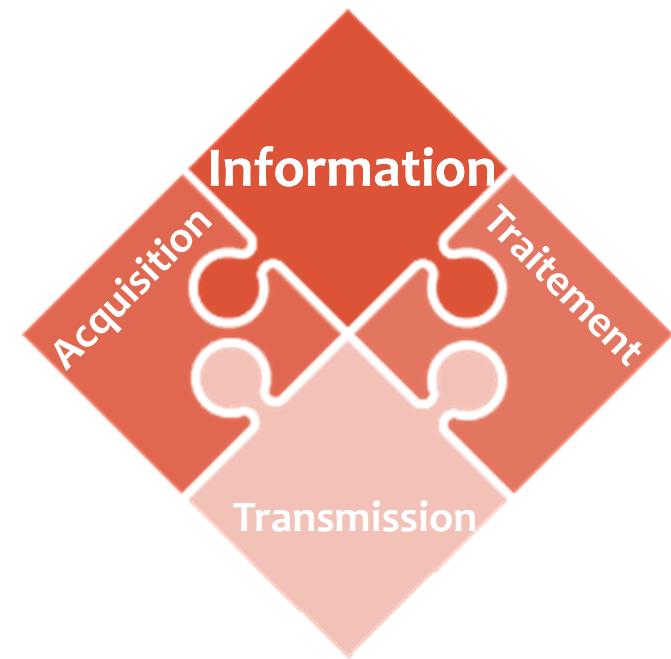
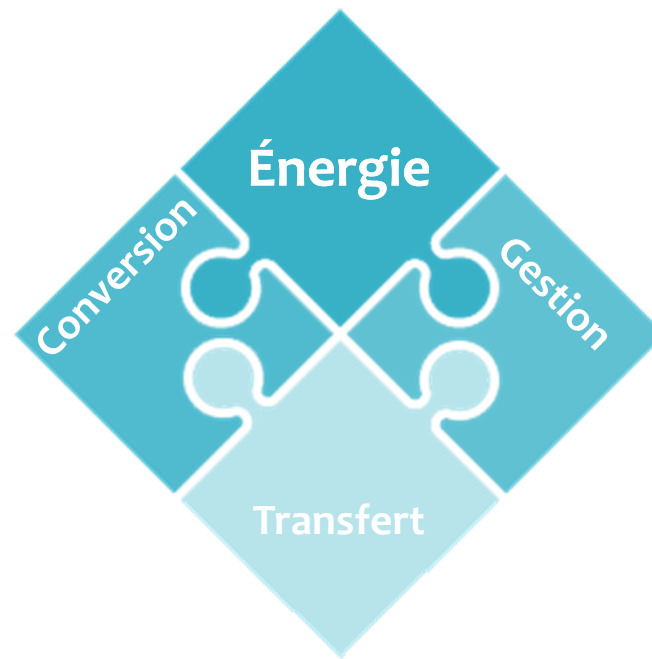
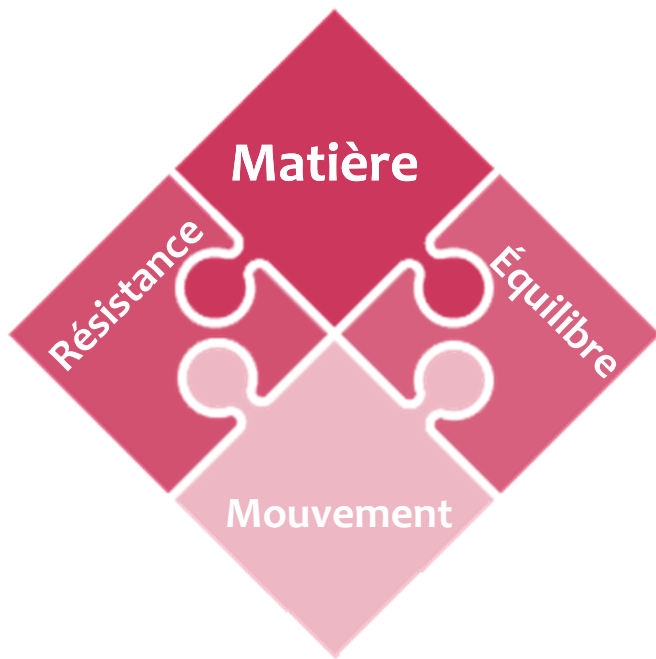
Une seule spécialité avec le choix d'un enseignement spécifique parmi 4



# Une démarche différente en STI2D



Un enseignement axé sur les concepts relatifs aux domaines de la matière, de l'énergie et de l'information constituent la base de la formation technologique en STI2D

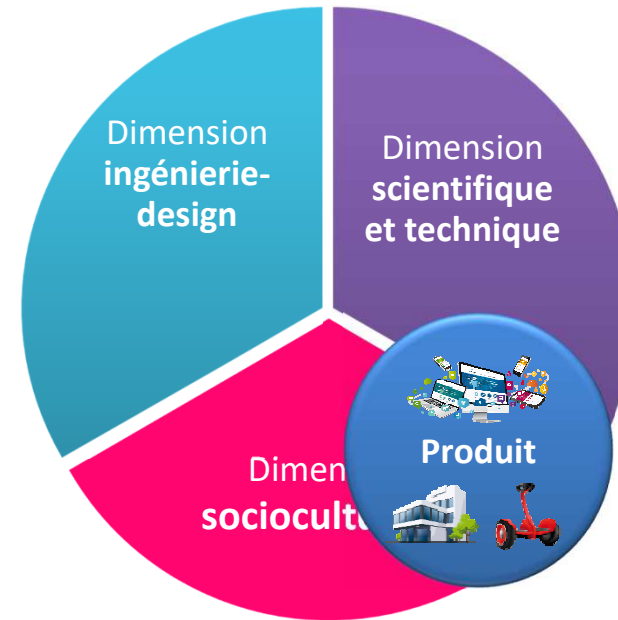
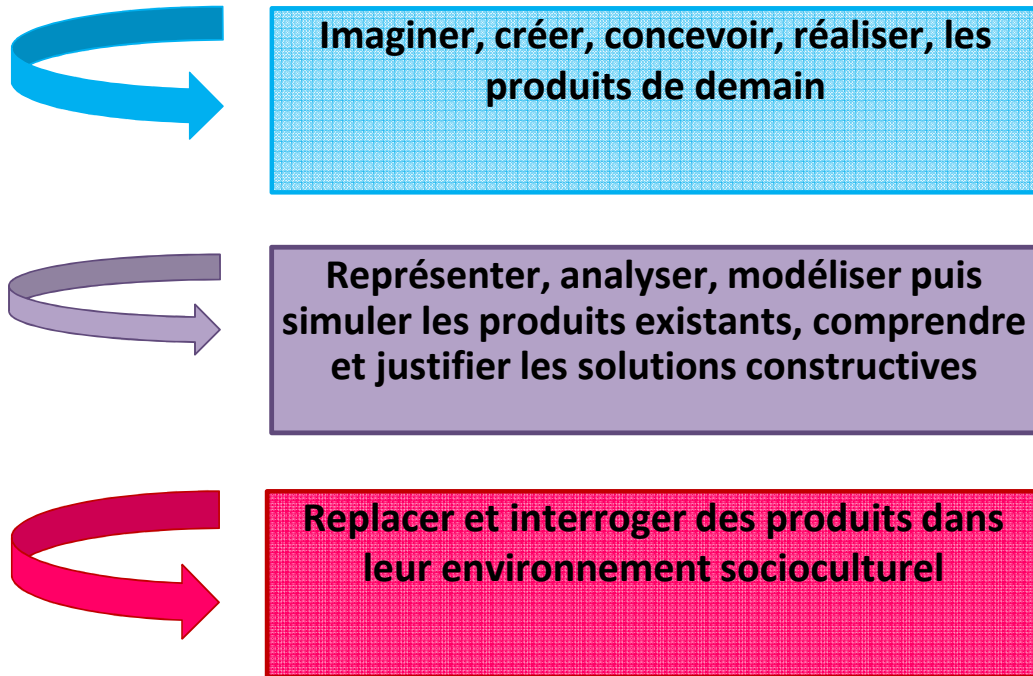




# Une démarche différente en STI2D



## Les 3 dimensions de la technologie



# Une démarche différente en STI2D

## De la conception à la réalisation



3h IT

Innovation Technologique (IT)

Répondre à un besoin à travers une approche active de mini projets

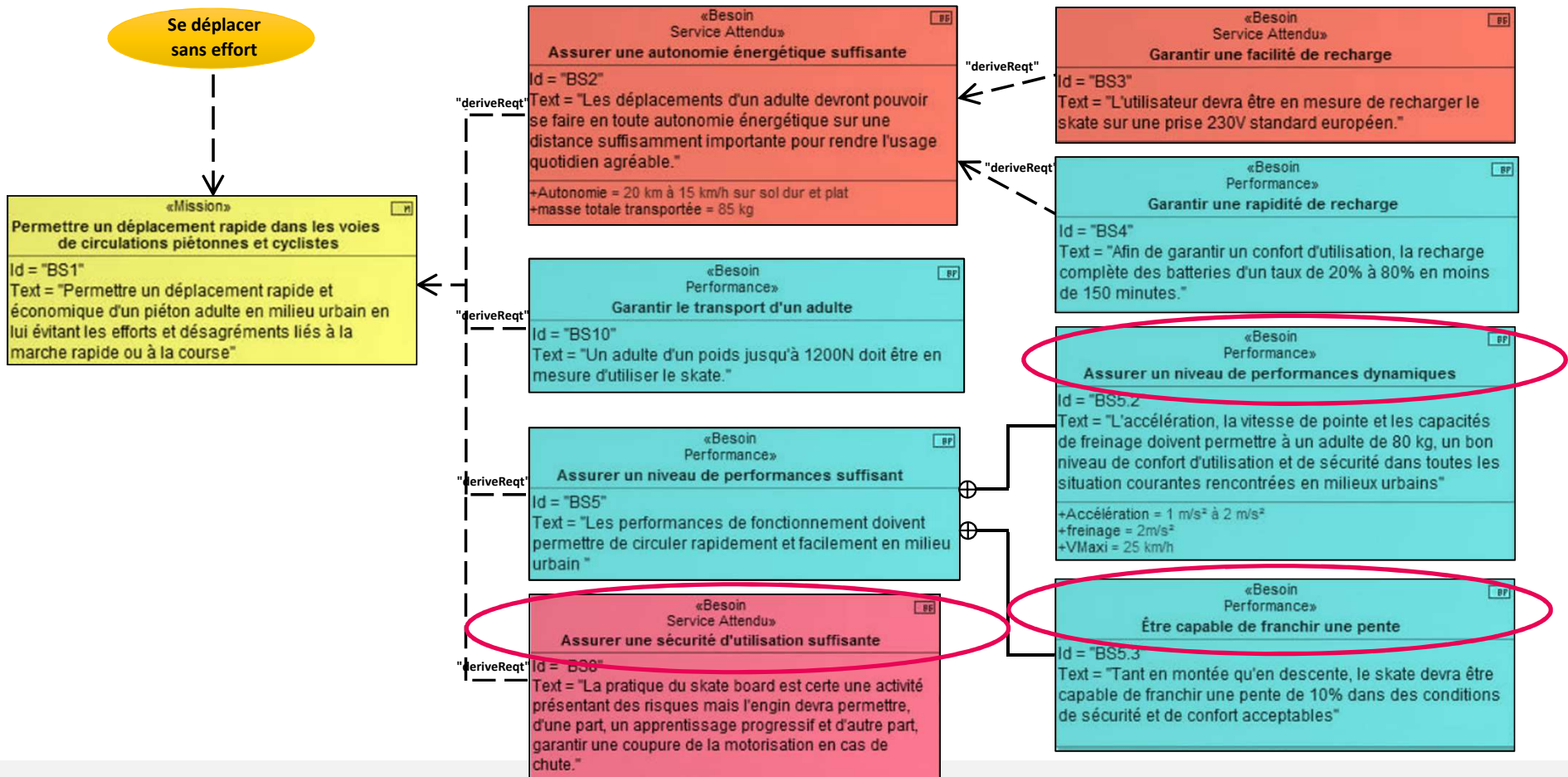
**Le besoin : sécuriser l'usage d'un skateboard électrique**



**La problématique : Comment modifier le skateboard électrique afin de garantir la sécurité de son usage?**

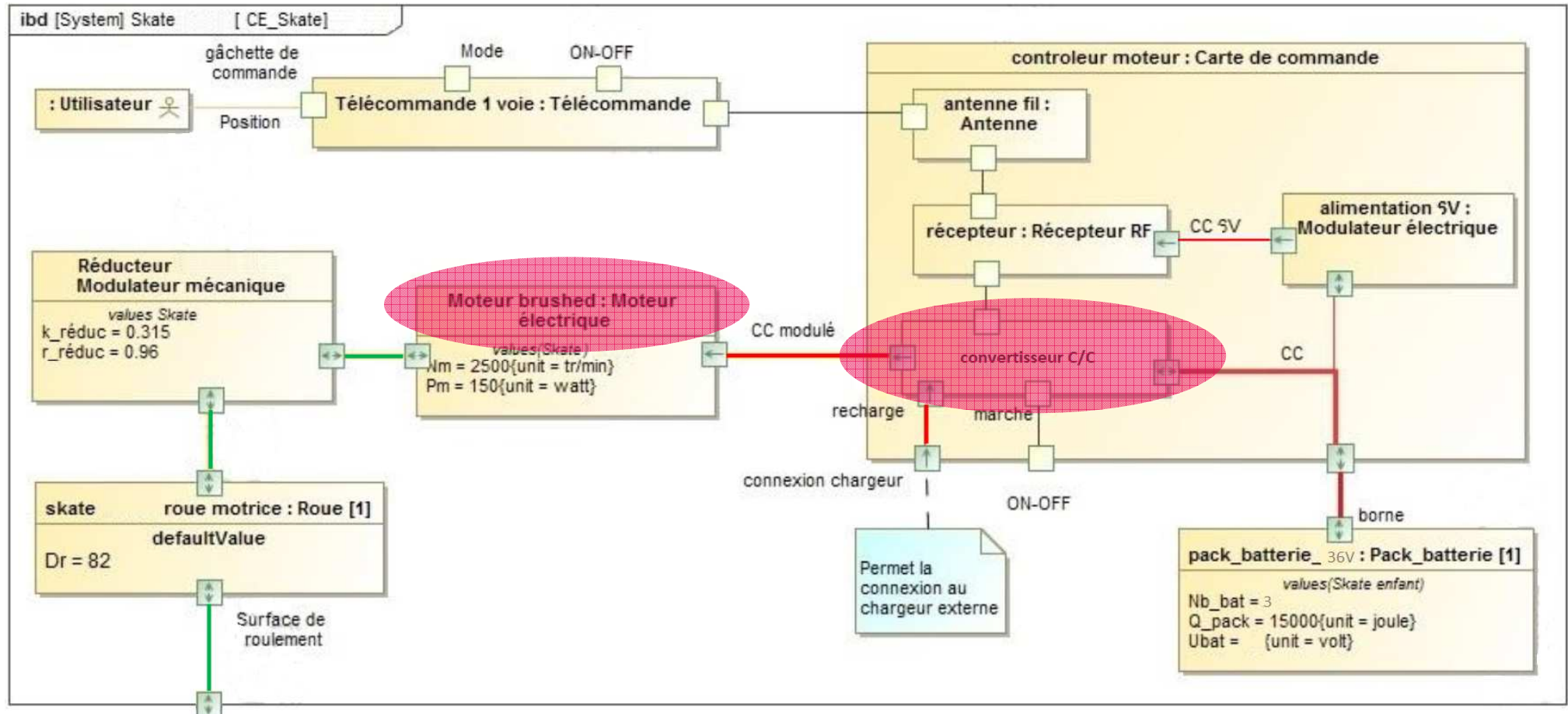
# Une démarche différente en STI2D

## De la conception à la réalisation



# Une démarche différente en STI2D

## De la conception à la réalisation

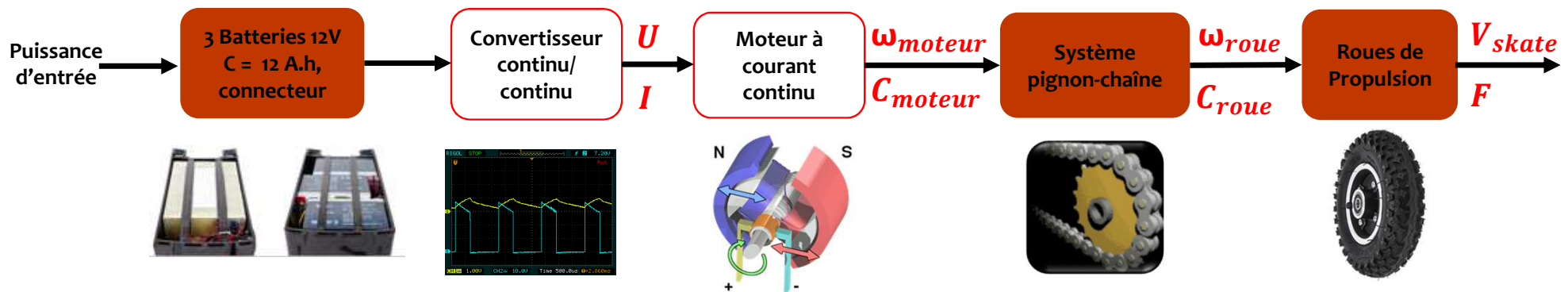


# Une démarche différente en STI2D

## De la conception à la réalisation



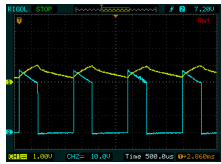
Solution envisagée : remplacer le moteur électrique par un moteur moins puissant.



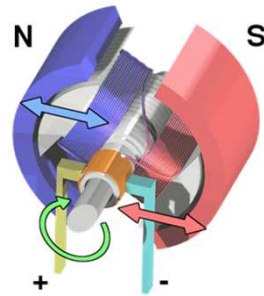
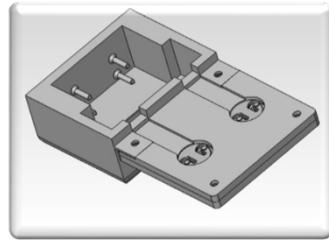
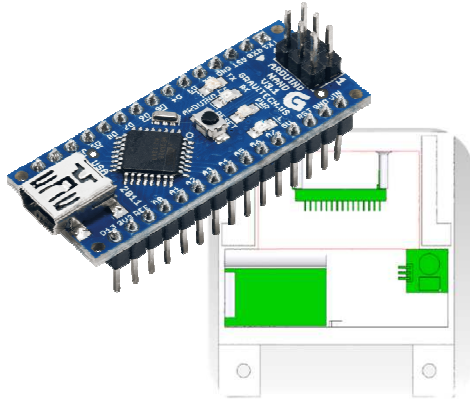
Valeur ajoutée supplémentaire : meilleure autonomie du skateboard électrique.

# Une démarche différente en STI2D

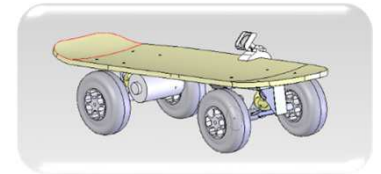
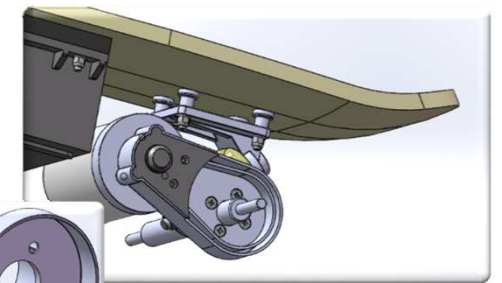
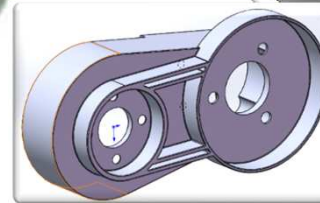
## De la conception à la réalisation



Choix puis programmation d'un Convertisseur adapté aux nouvelles caractéristiques

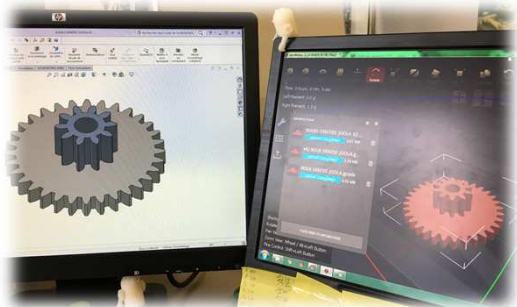
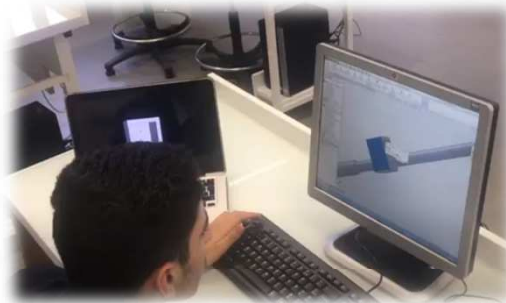
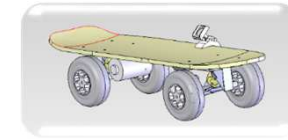


Choix puis Implantation du nouveau moteur électrique dans le skate en adaptant les supports actuels

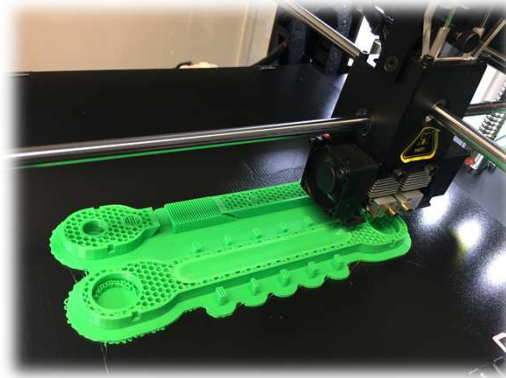


# Une démarche différente en STI2D

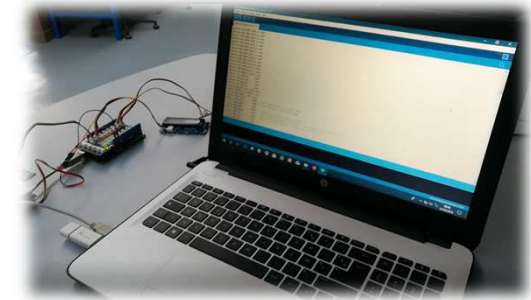
## De la conception à la réalisation



La conception assistée  
par ordinateur



La réalisation



La programmation

**BENOIT GALLIENNE**

PROFESSEUR DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

**MEREM MNAFAKH**

PROFESSEURE DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

**DAMIEN SAUNIER**

PROFESSEUR DE SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

**GILLES CAYOL**

INSPECTEUR D'ACADÉMIE - INSPECTEUR PÉDAGOGIQUE RÉGIONAL

SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES

**VINCENT MONTREUIL**

INSPECTEUR D'ACADÉMIE - INSPECTEUR PÉDAGOGIQUE RÉGIONAL

SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES

**RÉGIS RIGAUD**

INSPECTEUR GÉNÉRAL DE L'ÉDUCATION, DU SPORT ET DE LA RECHERCHE

GROUPE SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES

**SAMUEL VIOLLIN**

INSPECTEUR GÉNÉRAL DE L'ÉDUCATION, DU SPORT ET DE LA RECHERCHE

DOYEN DU GROUPE SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES