



VITESS

▴ Contexte du Projet

▴ VITESS: Virtual Testing for Energy Storage Systems

▴ Paramètres du Projet

▴ Enjeux et Attentes

▴ Essai Timeline

▴ Méthodologie

▴ Modélisation – État de l'Art:

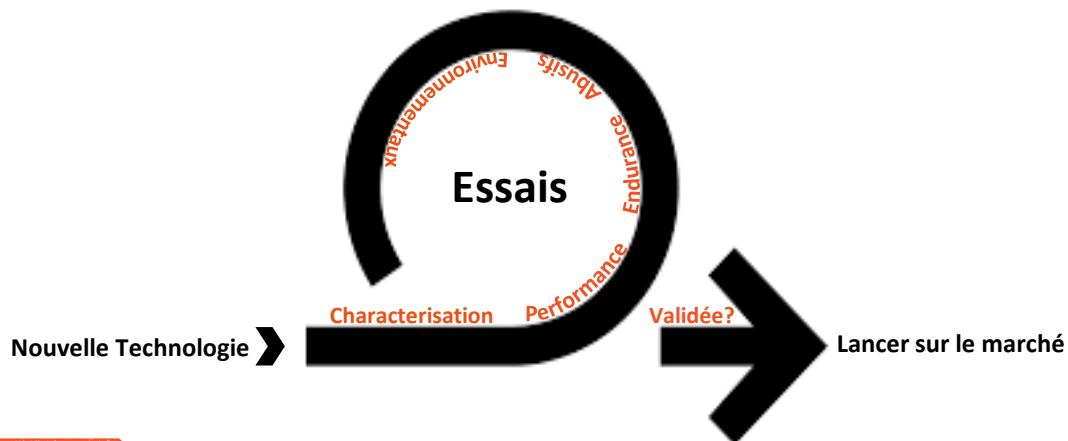
- Modèles Électrochimiques
- Modèles Thermiques
- Modèles Mécaniques
- Modèles de Vieillessement

▴ Testing

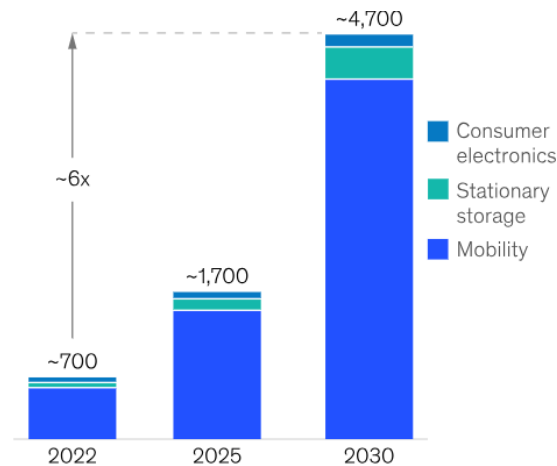
▴ Conclusion

Contexte du Projet

- L'essor actuel de l'électrification des véhicules oblige les constructeurs à focaliser leurs recherches sur des batteries plus performantes.
- Les enjeux des constructeurs et des fabricants de batteries sont les suivants: durée de vie, autonomie, temps de recharge, fiabilité et coût.



Global Li-ion battery cell demand, GWh, Base case



Source: McKinsey Battery Insights Demand Model

VITESS:

Virtual Testing for Energy Storage Systems.

VITESS – Virtual Testing for Energy Storage System

Développer une plateforme d'essais batteries numérique et hybride, basée sur un modèle multiphysique et des méthodes non intrusives de diagnostic et de pronostic. Ces essais « virtuels » permettent de réduire le temps et le coût d'une campagne d'essais, tout en assurant une fiabilité élevée.



Périmètre: À l'échelle cellule → Projet transposable à l'échelle d'un pack batterie

Projet de R&D initié par le CRITT M2A et cofinancé par l'Union Européenne



Cofinancé par
l'Union européenne



Région
Hauts-de-France

Forte demande du marché, portée par les réglementations environnementales et les exigences des clients (les centres d'essais ont atteint leur saturation)

Forts liens avec des partenaires académiques et industriels



kurybees

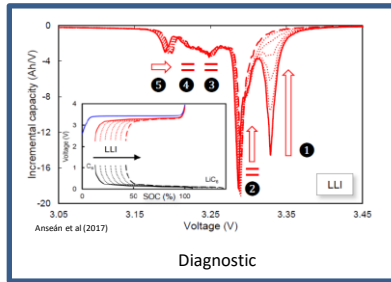
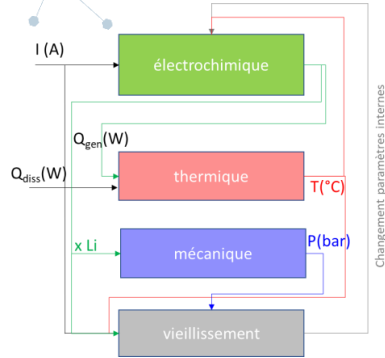


Paramètres du Projet

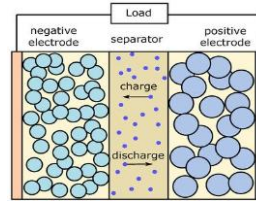
Couplage Multiphysique

Essais Physiques et Diagnostic

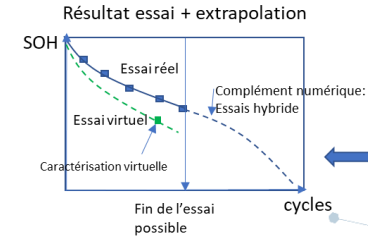
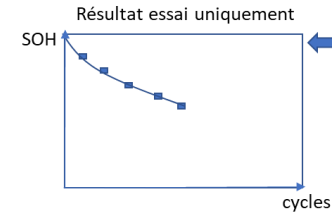
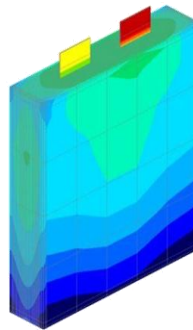
Essais Virtuels



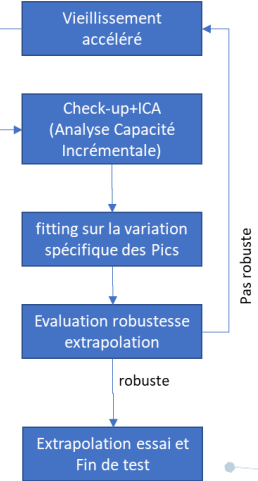
Modèle physique réduit:
Calibration non intrusive



Prise en compte de la 3D:
Inhomogénéités thermomécanique



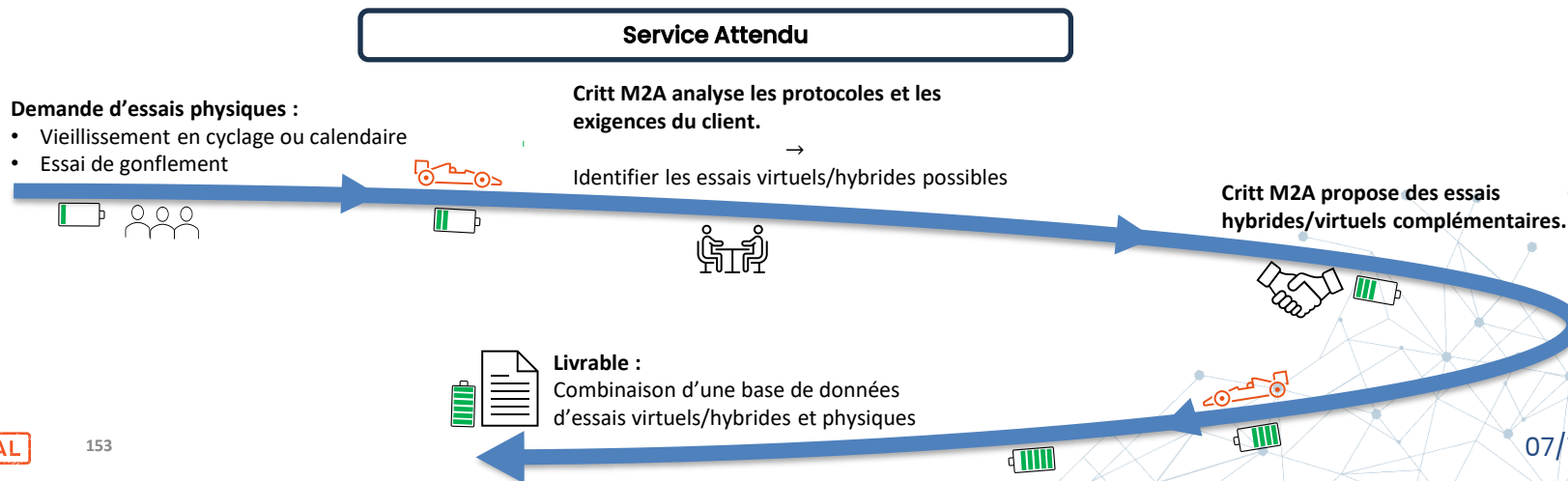
- **Extension essais physique**
- **Caractérisation virtuelle autres conditions d'usage**



Enjeux et Attentes

La modélisation du comportement des cellules lithium-ion représente un défi scientifique majeur:

1. Extrapoler un test de vieillissement accéléré dans le temps, sous différentes conditions, tout en tenant compte des mécanismes de dégradation.
2. Identifier et mettre en œuvre les interdépendances entre les mécanismes de dégradation.
3. Modéliser avec précision le point d'inflexion de la courbe de capacité, qui reflète une chute importante du niveau d'état de santé (SoH).
4. Définir une marge de précision acceptable pour la prédiction de grandeurs telles que la dynamique de tension, la température interne ou les contraintes mécaniques, ...



Essai Timeline

Essai Physique Traditionnel



~~Diagnostic~~

Fin d'essai

Temps

VITESS

Fin d'essai

Temps

Essai Physique

1. Mêmes conditions que l'essai physique initial.

Fin d'essai

Temps

2. Dans d'autres conditions.

VITESS

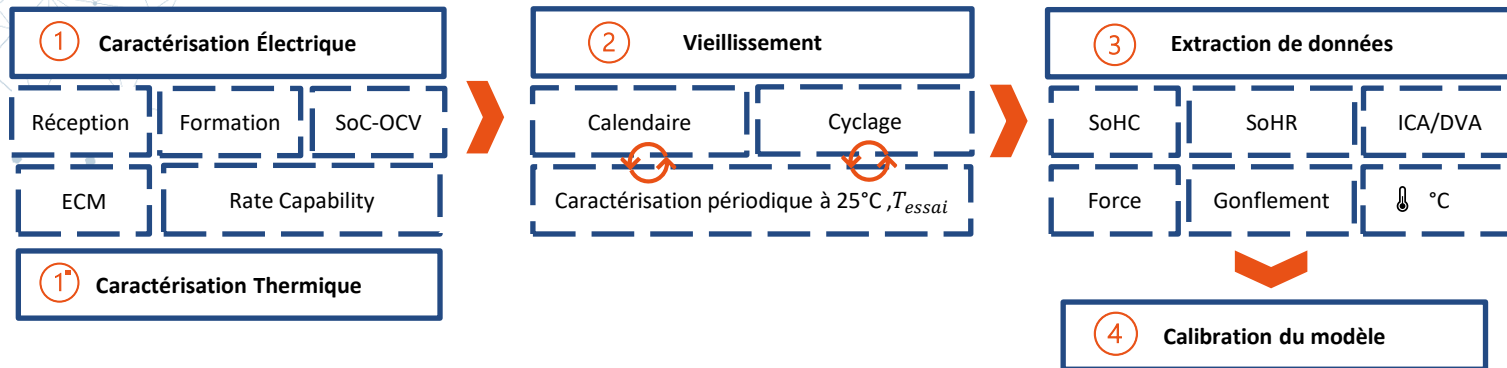


Diagnostiquer une batterie:

1. LLI
2. LAM
3. Changement d'impedance
4. Croissance de la SEI



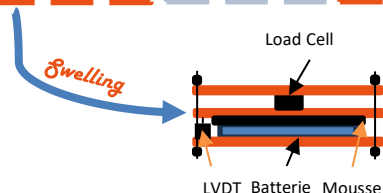
Méthodologie



Essais en cours ...



Modèle	Topologie	Capacité Théorique	Technologie	Mode de Vieillessement	Température
Samsung INR21700-53G1	Cylindrique	5.3 Ah	NCA	Cyclage	0°C, 25°C, 45°C
Lishen LP2714897-51Ah	Prismatique	51 Ah	NMC	Calendaire	0°C, 25°C, 45°C

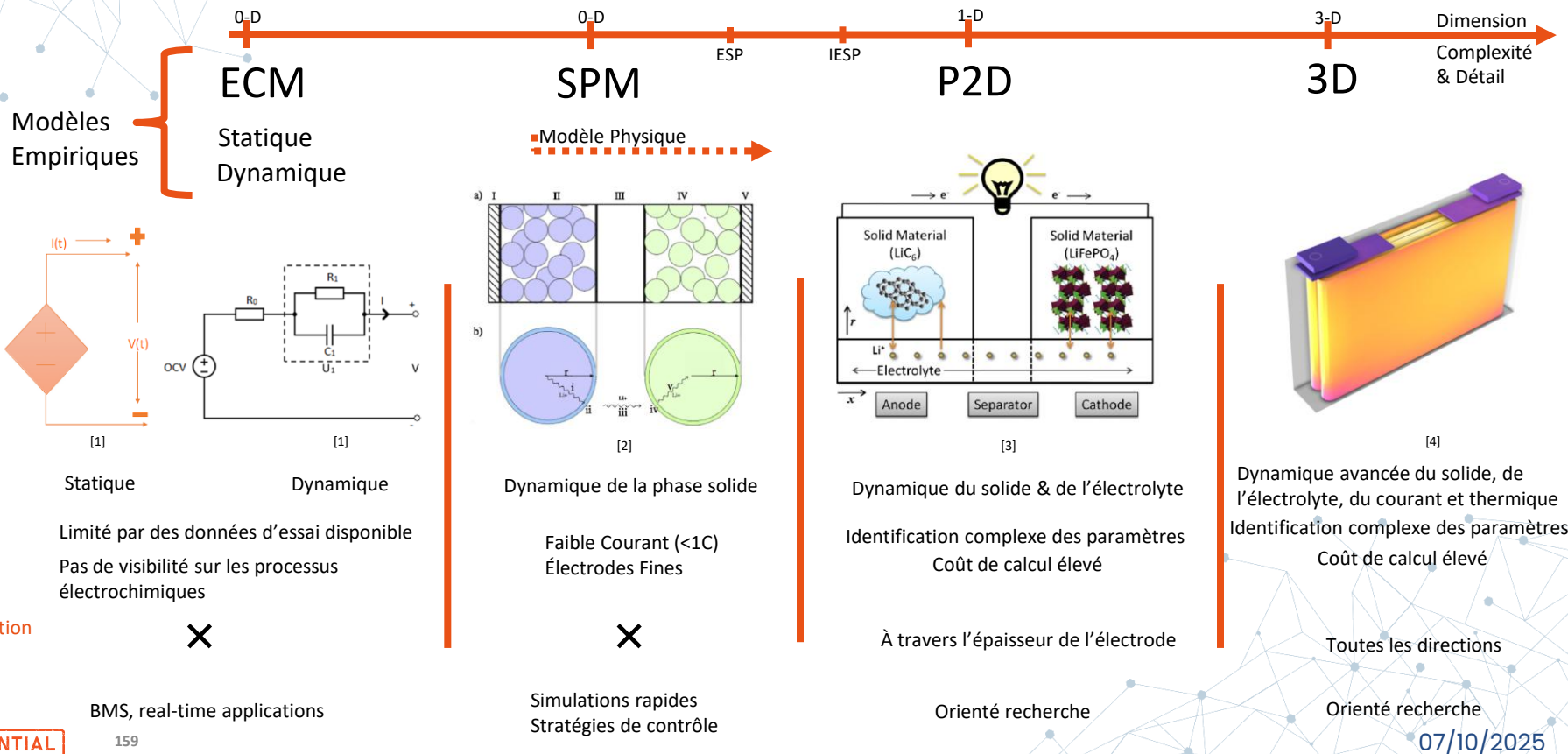


Ces exemples servent à illustrer:
D'autres cellules font l'objet de tests différents selon les exigences du projet.

État de l'Art

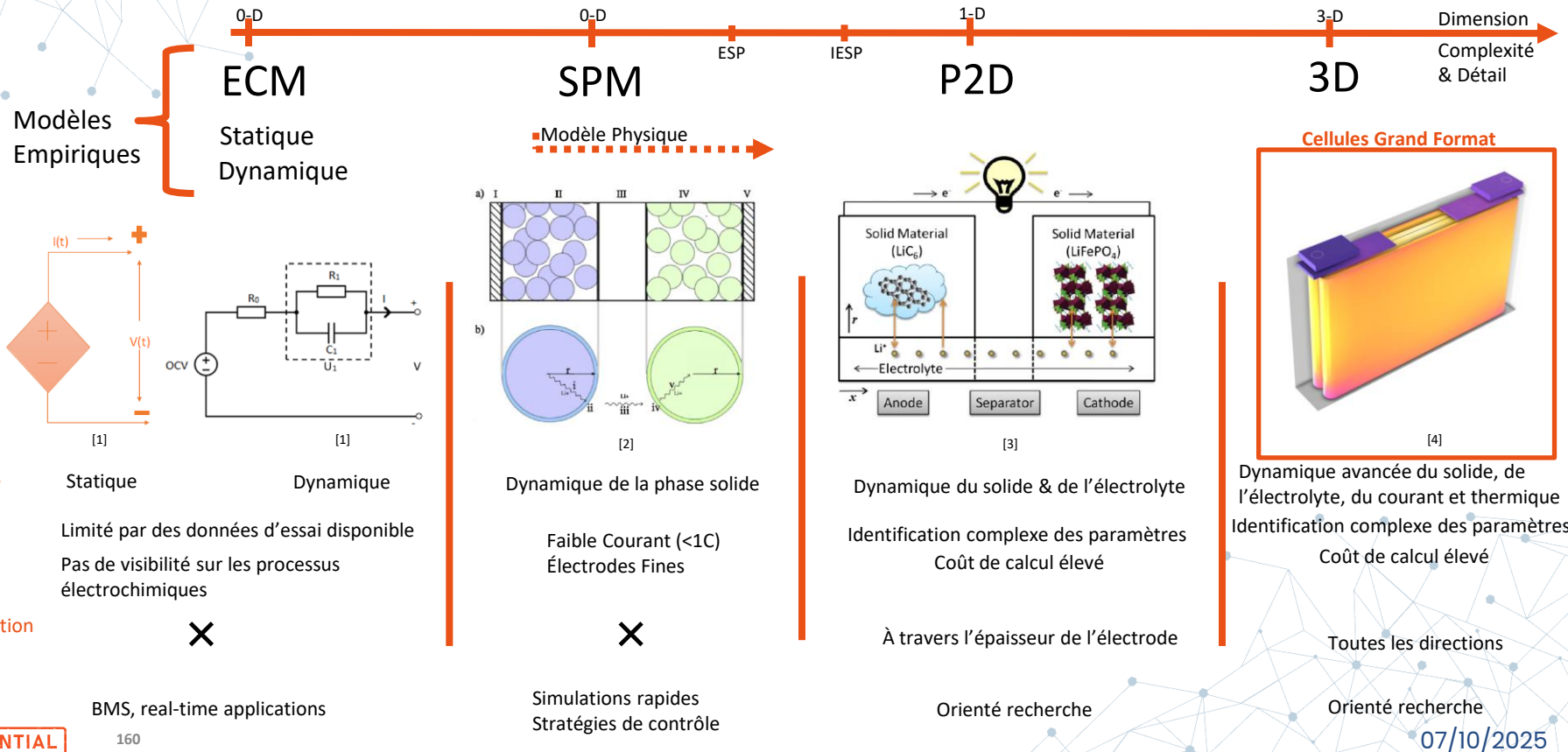
VITESS – Modélisation (État de l'art)

Modèles Électrochimiques Courants



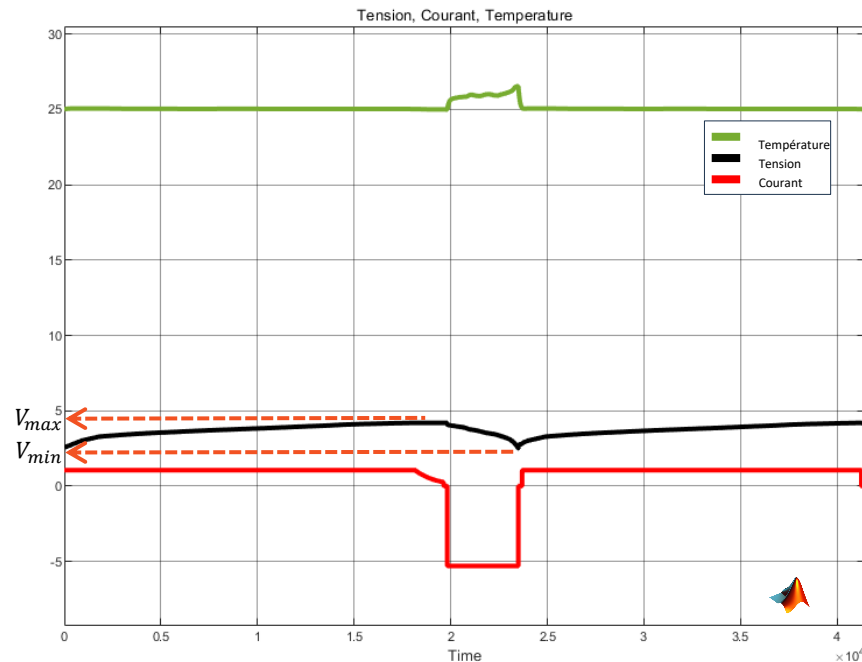
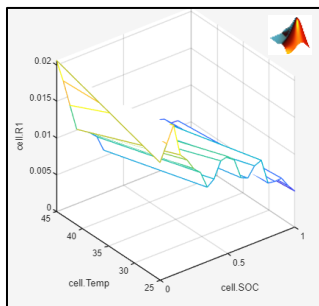
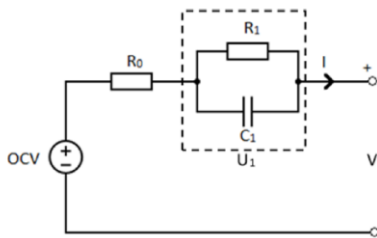
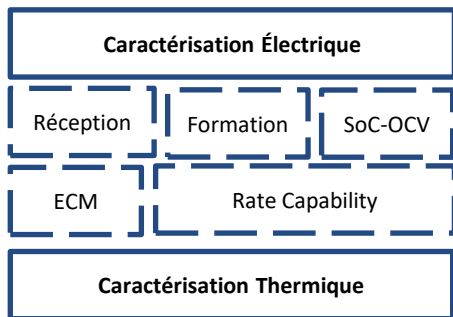
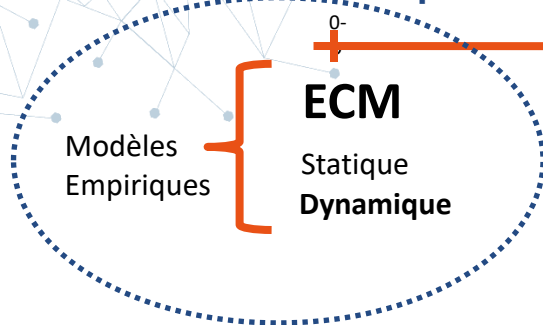
VITESS – Modélisation (État de l'art)

Modèles Electrochimiques Courants



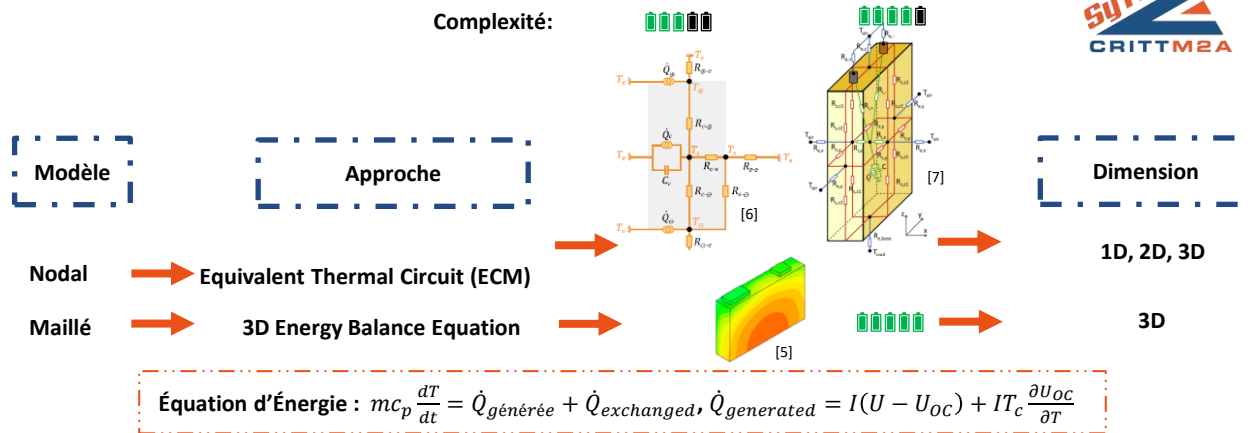
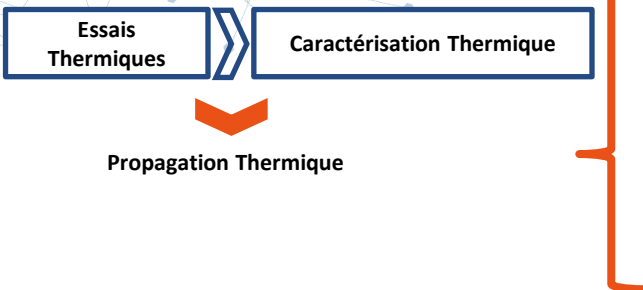
VITESS – Modélisation (État de l'art)

Modèles Electrochimiques Courants

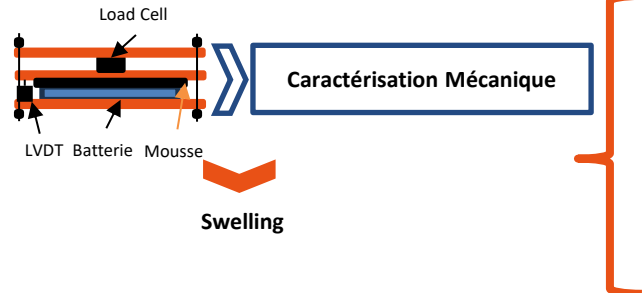


VITESS – Modélisation (État de l'art)

Modèles Thermiques Courants



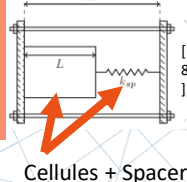
Modèles Mécaniques Courants



1-D → $F_m(\Delta T, SoC) = \sigma A = -k_{sp} \frac{\sigma AL}{AE(\Delta T_b)} + k_{sp} \alpha L \Delta T_b + k_{sp} L \varepsilon_{Li}(SoC) - k_{sp} \alpha_F H \Delta T_F + \delta f(t)$

Dynamic factor - transient phases
 $\delta f(t) = f(T, I)$

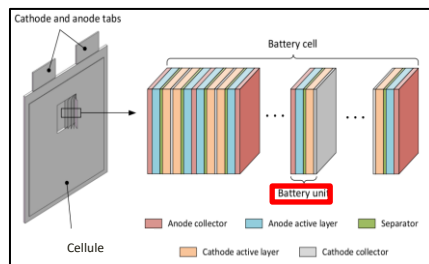
Maillé → $\varepsilon_{ijk} = \frac{1}{E} \left((1 + \nu) \sigma_{ijk} - \nu \sigma_{ijl} \delta_{ijk} \right) + \frac{1}{3} \Omega \Delta c \delta_{ijk}$
 $\varepsilon_{ijk} = \frac{1}{E} \left((1 + \nu) \sigma_{ijk} - \nu \sigma_{ijl} \delta_{ijk} \right) + \alpha_{ijk} \Delta T \delta_{ijk}$



Modèles Mécaniques Internes

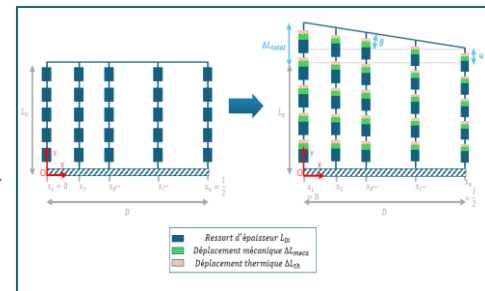
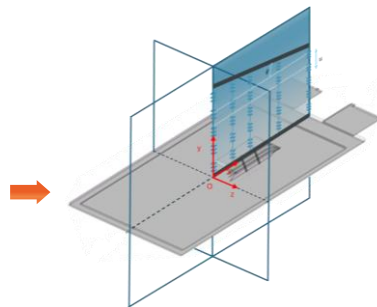
Le Principe: Chaque couche → Ressort

- Collecteur d'anode.
- Couche active de l'anode.
- Séparateur.
- Couche active de la cathode.
- Collecteur de cathode.

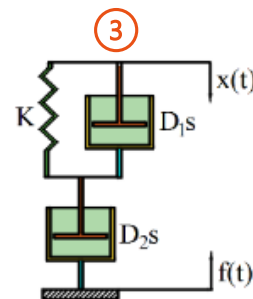
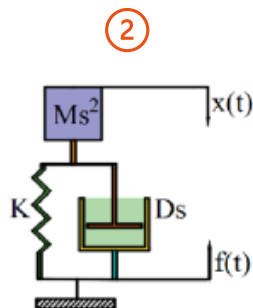
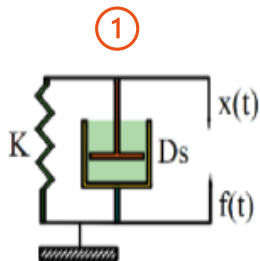


[9]

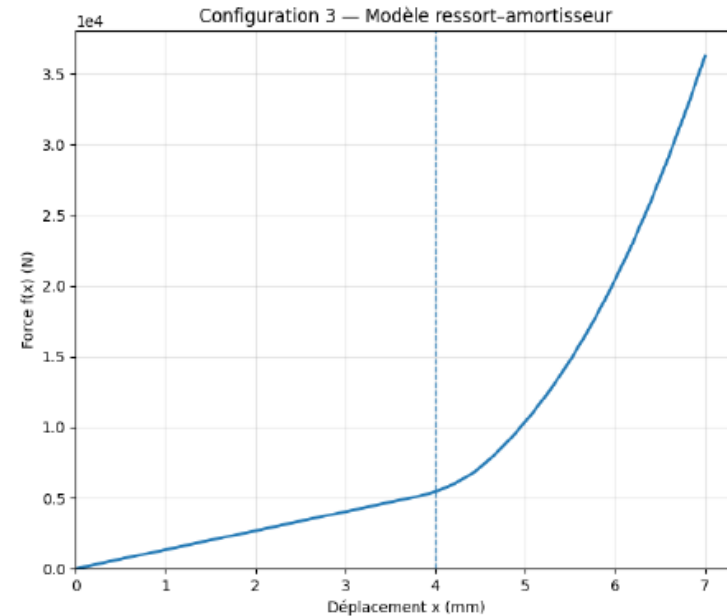
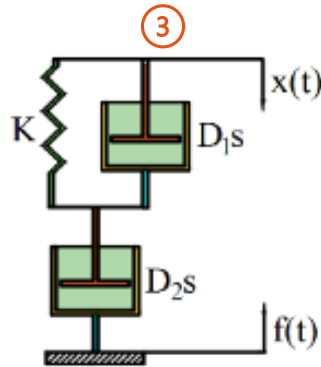
Empilement répété N fois



Le Principe: Chaque couche → Ressort et ...? pour améliorer la fiabilité du modèle



Modèles Mécaniques Internes



VITESS – Modélisation (État de l'art)

Mode de Vieillessement de la Batterie

- Vieillessement Calendaire
- Vieillessement par Cyclage

Mécanismes de Dégradation

- LAM: Perte de Matériau Actif
Loss of Active Material
- LLI: Perte d'Inventaire de Lithium
Loss of Lithium Inventory
- Changement d'impédance



Modèles Empiriques/Semi-Empiriques

→ Comment? Ajustement de courbe basé sur des données expérimentales

Vieillessement Calendaire



- Modèle Temporel
 - Modèle Thermique
 - Modèle de SoC

- ⚠ Pas d'augmentation initiale de capacité au début à faible SoC
- ⚠ Calibration à haute température → erreurs à basse température
Condition de test $\approx$ Condition d'exploitation
- ⚠ Plage étendue de tests du SoC
Calibration du modèle $> 90 - 95\%$ $\gg$ Les erreurs sont élevées à faible SoC
Dépendant de la technologie de la batterie

Vieillessement par Cyclage



- Ah Throughput Model
 - Modèle Thermique
 - Modèle de SoC
 - Modèle de SoC/DoD

- ⚠ Pas d'augmentation initiale de capacité au début à faible SoC
Inadéquation pour une application en temps réel | Efficace aux premiers stades
Inclut le vieillissement calendaire par défaut
- ⚠ Imprécision à des températures éloignées de la température ambiante
- ⚠ Sensibilité à la technologie | Sensibilité à la température → Modèle $\forall$ plage de température
- ⚠ Très sensible au SoC initial → Imprécisions

VITESS – Modélisation (État de l'art)

Mode de Vieillessement de la Batterie

- Vieillessement Calendaire
- Vieillessement par Cyclage

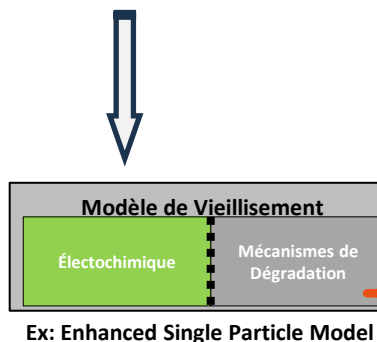
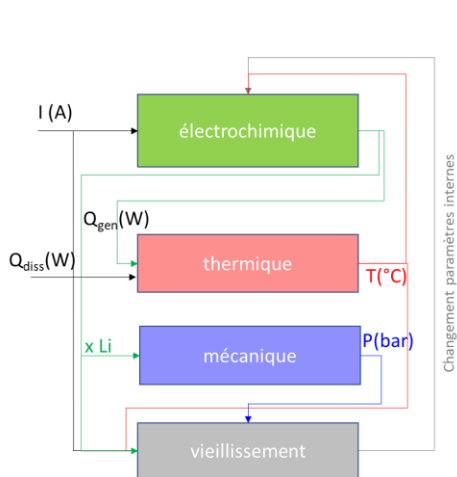
Mécanismes de Dégradation

- LAM: Perte de Matériau Actif
Loss of Active Material
- LLI: Perte d'Inventaire de Lithium
Loss of Lithium Inventory
- Changement d'impédance



Modèle Physique

Vieillessement Calendaire et Cyclique: Modèle Multiphysique + Mécanismes de Dégradation



Changement d'impédance: Ionique + Électrique

Évolution de la porosité

Croissance de la SEI

Dépôt de lithium métallique

Augmentation initiale de la capacité

Contributions homogènes

Contributions hétérogènes

Microstructure de la cellule

Fatigue électrochimique

Nucléation et croissance :
composés et atomes de lithium

Croissance hétérogène de la SEI

Testing

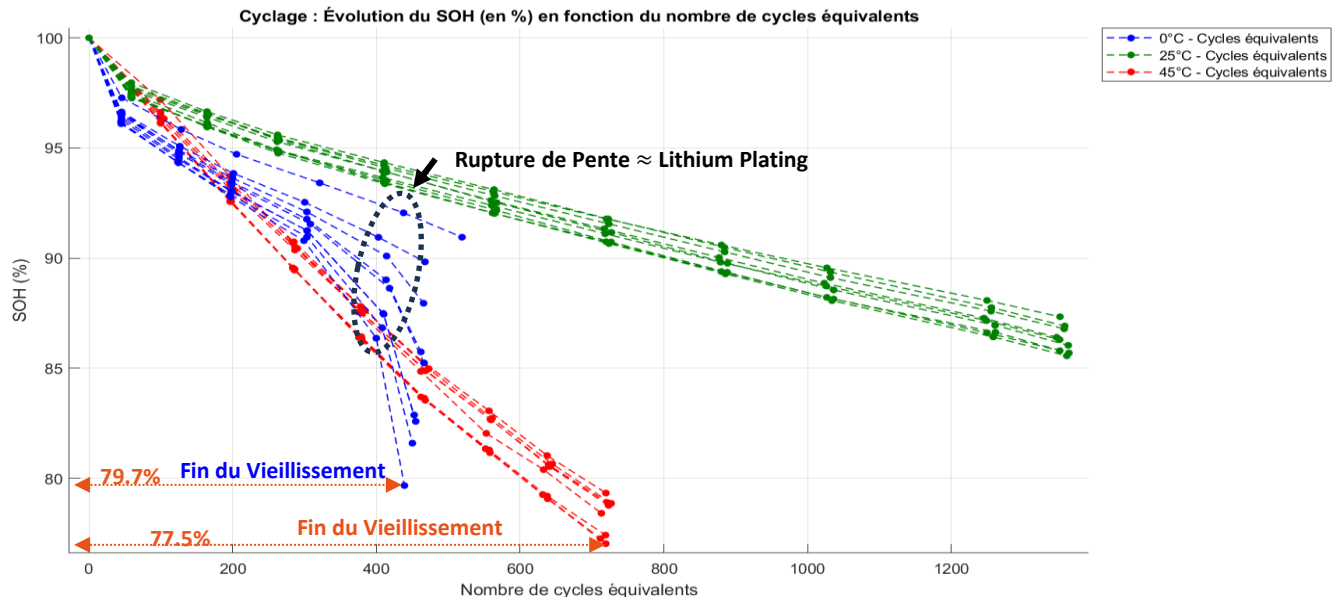
» Campagne de tests de vieillissement pour la calibration des paramètres du modèle

Samsung INR21700-53G1

Cylindrique

5.3 Ah

NCA



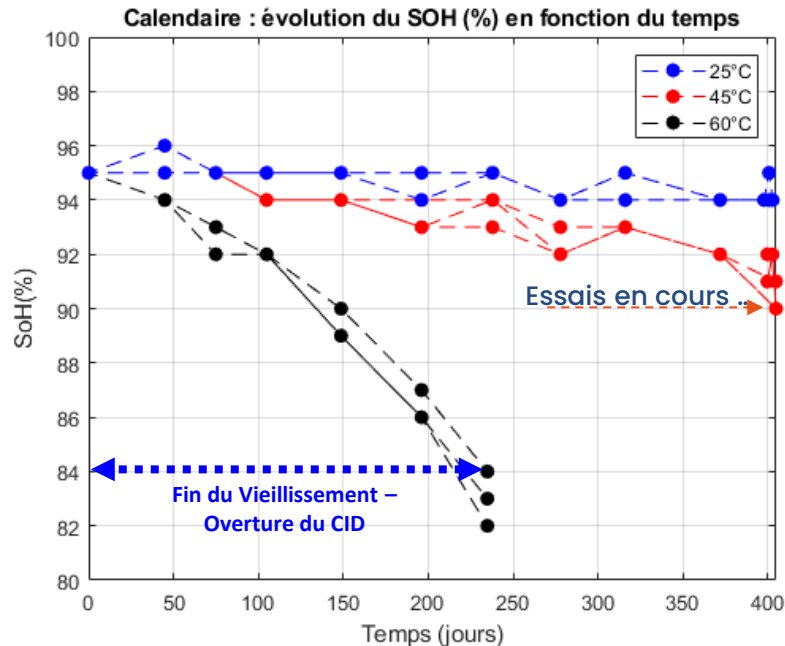
» Campagne de tests de vieillissement pour la calibration des paramètres du modèle

Samsung INR21700-53G1

Cylindrique

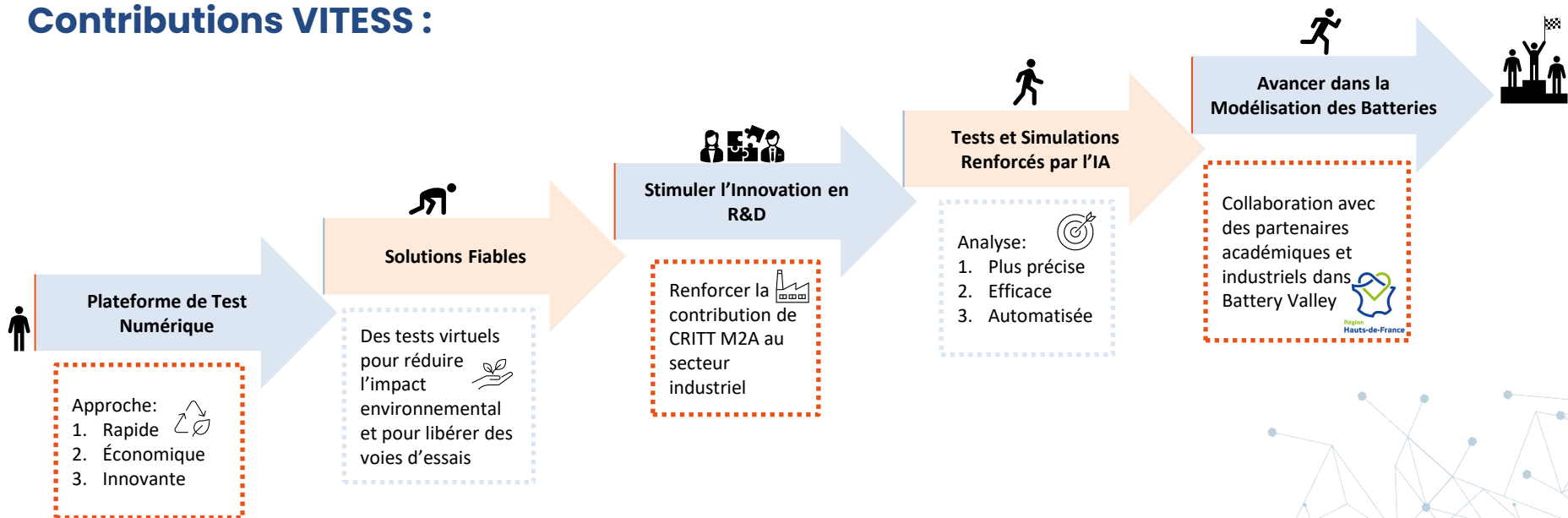
5.3 Ah

NCA



Conclusion

Contributions VITESS :





MERCI