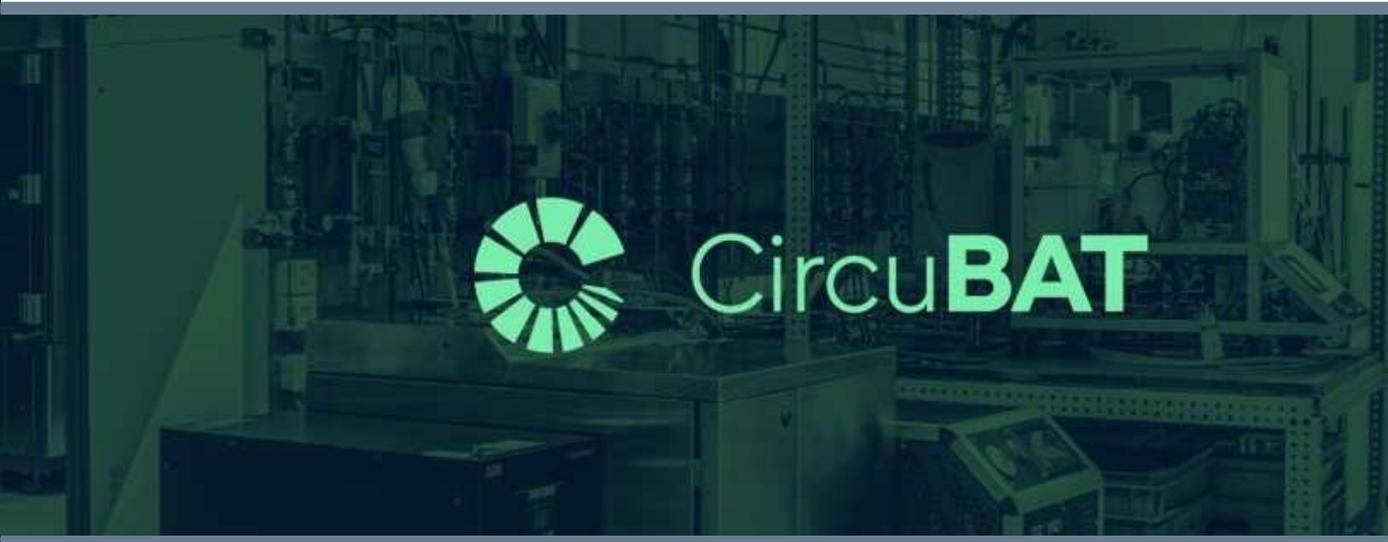




Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences



CircuBAT

Modèle suisse d'économie circulaire
pour les piles au lithium

► 2022-06-10; Prof. Andrea Vezzini | Haute école spécialisée bernoise | Centre BFH Stockage d'énergie

Et maintenant?

Quels sont encore, actuellement, les problèmes de l'électromobilité?

La révolution de l'électromobilité devient une tendance forte

2021: la Suisse en force vers l'avenir

Nouvelles admissions de véhicules rechargeables en 2021

Janvier – décembre 2021



Quelle: IVZ ASTRA, Stand 01.01.2022

- L'électromobilité en Suisse, en 2021: 32,9% de véhicules rechargeables en décembre, dépassant pour la première fois le seuil des 30% en Suisse. Point positif: plus des 2/3 de ceux-ci sont des véhicules entièrement électriques (BEV).
- En moyenne annuelle, plus d'un véhicule sur cinq était rechargeable (au total 22,5%), dont près de 60% BEV.

MERCEDES EQXX: 1'008 + 140 km avec une charge



- De Stuttgart à la Côte d'Azur sans recharger
- Vitesse moyenne: 87,4 km/h, compte tenu de tous les bouchons
- Capacité de la batterie: 100 kWh (CATL anodes en silicium)
- Poids des batteries : 495 kilos
- Poids total: 1'755 kg | Cx: 0,17
- Consommation: 8,7 kW sur 100 kilomètres

Comparaison avec d'autres véhicules disponibles sur le marché



Tesla Model 3: Long Range AWD

Range per tank: 500 kilometers | 310 miles

Curb weight: 1,847 kilograms | 4,072 pounds

MPGe: 120 City / 112 Highway / 116 Combined MPGe

Electric Motor Power: 211 kilowatt

Electric Motor Torque: 376 lb-ft

Motor Type: Permanent Magnet AC synchronous

Hydrogen tank capacity: N/A

Battery capacity: 75 kWh

Battery type: Lithium-Ion (NMC811)

Base price: \$47,990

Source: Toyota, Tesla, BMW



BMW M340ix: AWD (2020)

Range per tank: 768 kilometers | 477 miles

Curb weight: 1,800 kilograms | 3,968 pounds

MPG: 22 City / 30 Highway / 25 Combined MPG

Electric Motor Power: 281 kilowatt

Electric Motor Torque: 369 lb-ft

Motor Type: Inline 6 Cylinder Turbo

Fuel tank capacity: 59 liters

Battery capacity: N/A

Battery type: N/A

Base price: \$56,000



Toyota Mirai H2 FC FWD

Range per tank: 502 kilometers | 312 miles

Curb weight: 1,848 kilograms | 4,075 pounds

MPGe: 66 City / 66 Highway / 66 Combined MPGe

Electric Motor Power: 114 kilowatt

Electric Motor Torque: 247 lb-ft

Motor Type: Permanent Magnet AC synchronous

Hydrogen tank capacity: 122.4 liters total

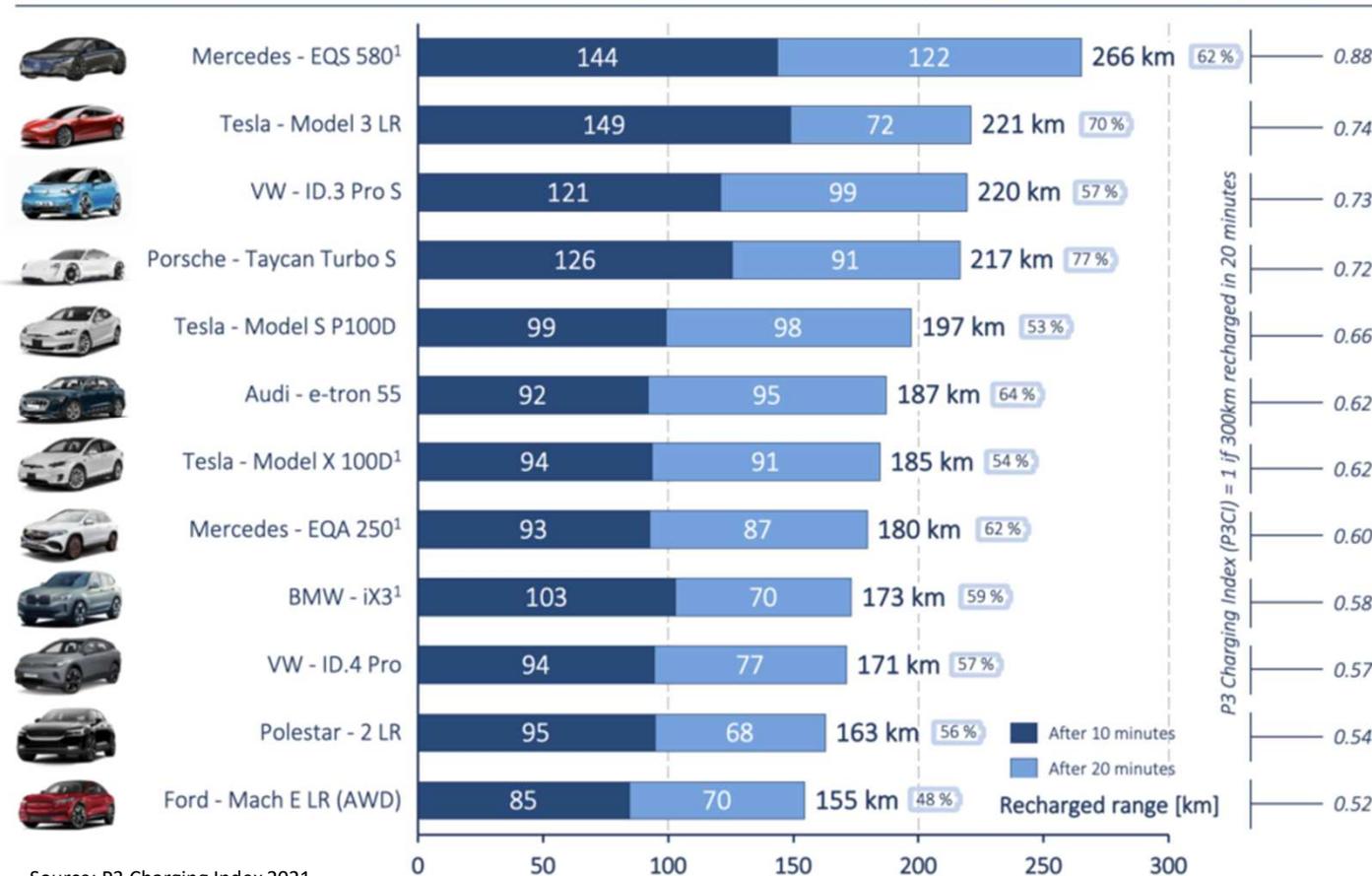
Battery capacity: 1.6 kWh

Battery type: Nickel-Metal Hydride (Ni-MH)

Base price: \$58,365

Technologie 800 V et une capacité de charge maximale de 500 kW

COMPARISON OF RECHARGED RANGES AFTER 10 AND 20 MIN OF CHARGING (START @10% SoC)



Mate Rimac
vor etwa 4 Monaten

Nevera charging at 300+kW at public fast charging station in Croatia (Ionity). The car can actually take 500 kW, once charging stations catch up. 10-80% in 21 minutes in the real world. Now, waiting for 500 kW...

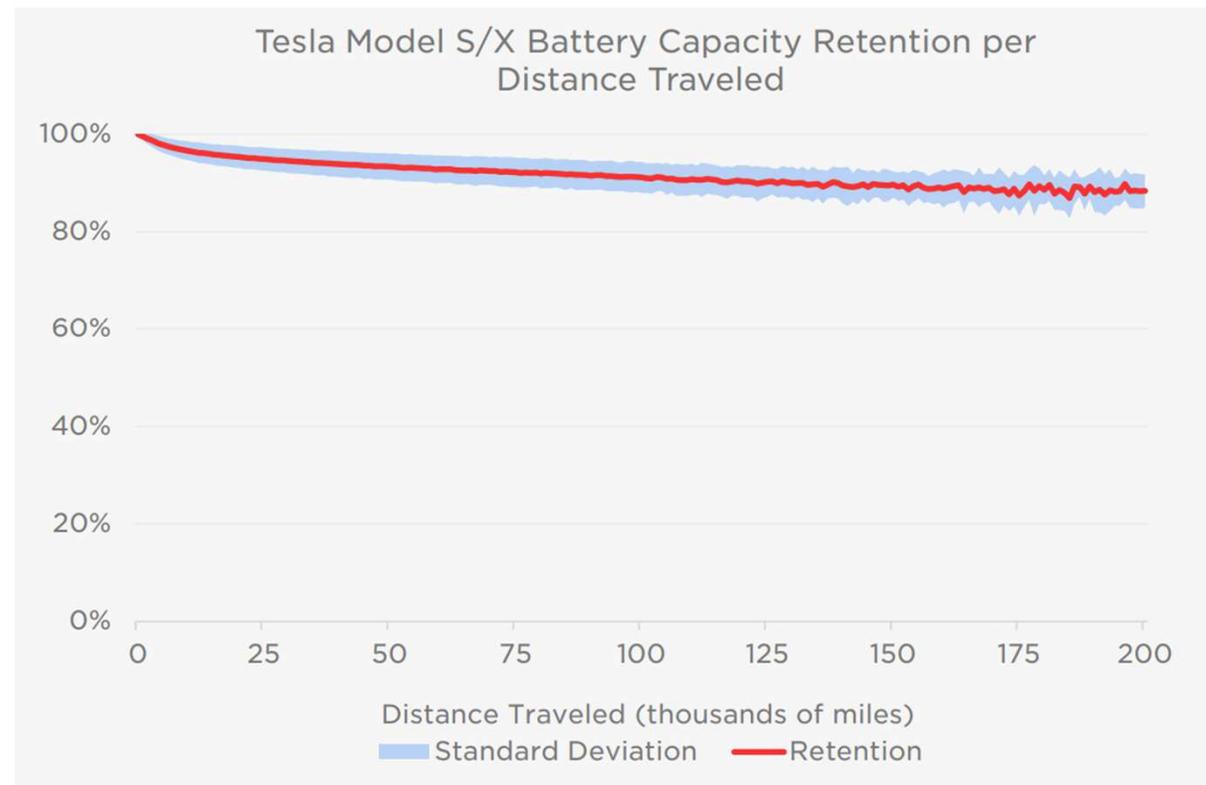
2.936 31 75

Les batteries vont survivre aux voitures

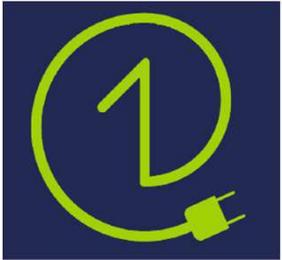
Source: Tesla 2020 Impact Report

- La durée d'utilisation moyenne des voitures de tourisme privées (ICE) aux Etats-Unis est de 17 ans et environ 200'000 miles (322'000 km). En Europe, la distance parcourue est plus faible – environ 130'000 miles (209'000 km).
- Après la vente de plus de 1 million de voitures électriques, les données de Tesla concernant l'usure des batteries montrent que les batteries de voitures ayant parcouru 150'000 – 200'000 miles (241'000 – 322'000 km) disposent encore, en moyenne, d'une capacité de charge de 88% (ligne rouge / l'usure des batteries est inférieure à 15%).

Capacity retention of Tesla vehicle batteries averages ~90% after 200,000 miles of usage



Electromobilité



L'industrie est plus ambitieuse que la politique et représente un moteur de changements bien plus efficace – nous vivons potentiellement le début d'une évolution allant d'un processus guidé par des lois vers une « course à l'excellence » guidée par le marché, pour laquelle la politique doit créer les conditions cadre adéquates.



Compte tenu des objectifs ambitieux de l'industrie, celle-ci se heurte à des facteurs limitant sa croissance dans la chaîne de création de valeur ajoutée - p.ex. l'approvisionnement en matières premières et en composants clés comme des puces électroniques, ainsi que les capacités de fabrication correspondantes.

“in the most likely accelerated scenario, consumer adoption will exceed regulatory targets and Europe will reach around 75 percent EV market share by 2030.”

Source: www.aveve.org | April 2022

THE END OF THE ICE AGE: European E-mobility Policies and Trends

Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

McKinsey & Company: Why the automotive future is electric

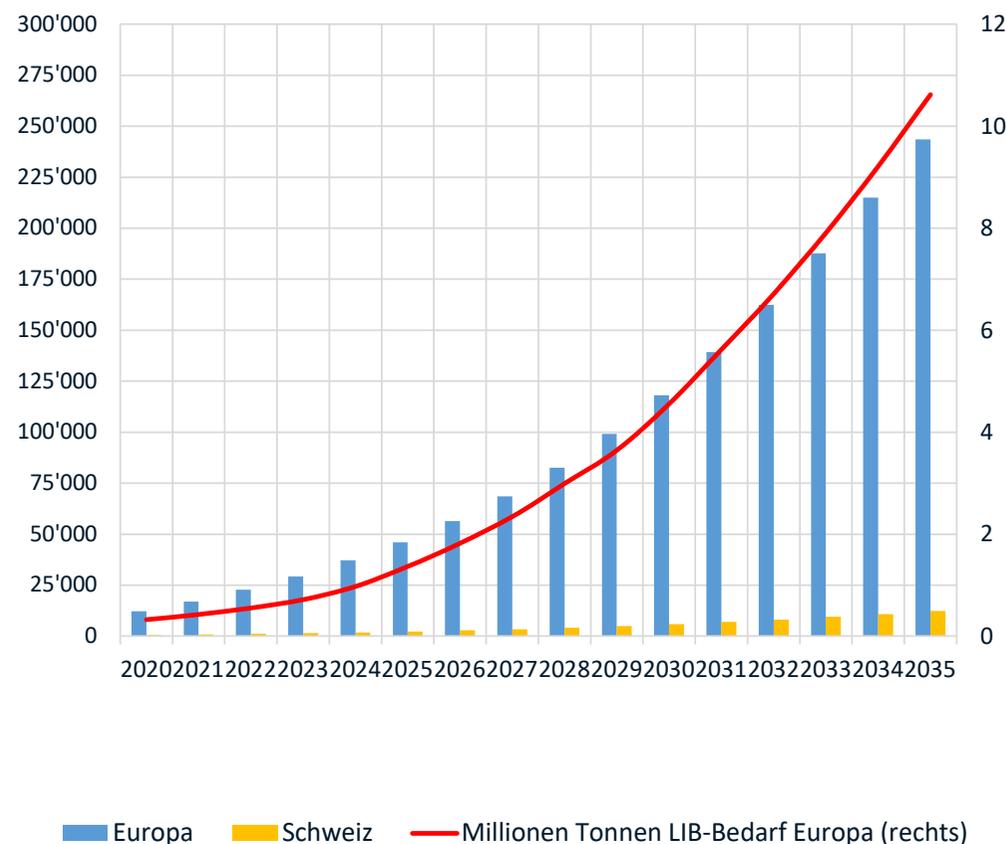
Et pourtant!

Quels sont encore, actuellement, les problèmes de l'électromobilité?

Batteries en fin de vie, en Europe

- 2035: 250'000 tonnes de batteries de traction au lithium en fin de vie.
- Pour des raisons de durabilité et d'efficacité énergétique, l'UE encourage vivement l'économie circulaire.
- Un marché régulé va se développer pour les matériaux d'électrodes recyclés:
 - quotas de recyclage étatiques
 - normes environnementales
 - limitations des exportations
 - taxes de recyclage et subventions
- L'UE veut garder en Europe les matériaux d'électrodes disponibles (lithium, nickel, manganèse, cobalt, cuivre) et réfléchit ouvertement à des limitations d'exportation vers la Chine.

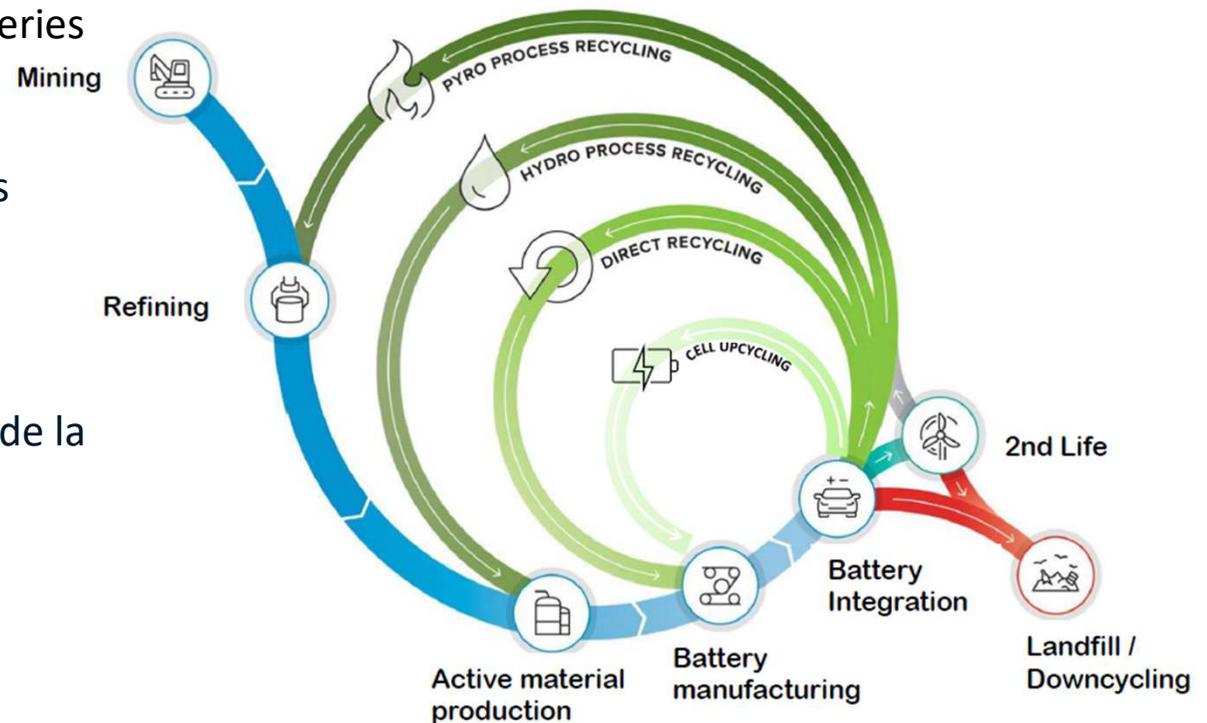
Batteries de traction lithium-ion en fin de vie destinées au recyclage (nombre / tonnes)



Sources: Roland Berger, McKinsey, EU, Strategy Analytics, IEA, de.statista.com, ZSW, Auto-Suisse, Center of Automotive Management, Inobat, ReLieVe, all-electronics.com, Tesla, fondation Autorecycling Suisse

Objectif: fermer le cycle des batteries

- **Chaîne bleue:** la voie actuelle, du début à la fin de vie des batteries de traction.
- **Cercles verts:** l'avenir de la production de batteries → recyclage.
- La mise en place d'un recyclage régional des batteries Li-ion et d'une production de cellules permettrait:
 - une réduction des émissions de CO2
 - un abaissement du coût des batteries
 - une réduction du risque de perturbation de la chaîne logistique
 - une diminution de l'impact sur l'environnement
 - le développement des connaissances
 - la consolidation de l'industrie locale
 - la réalisation d'un avenir vert





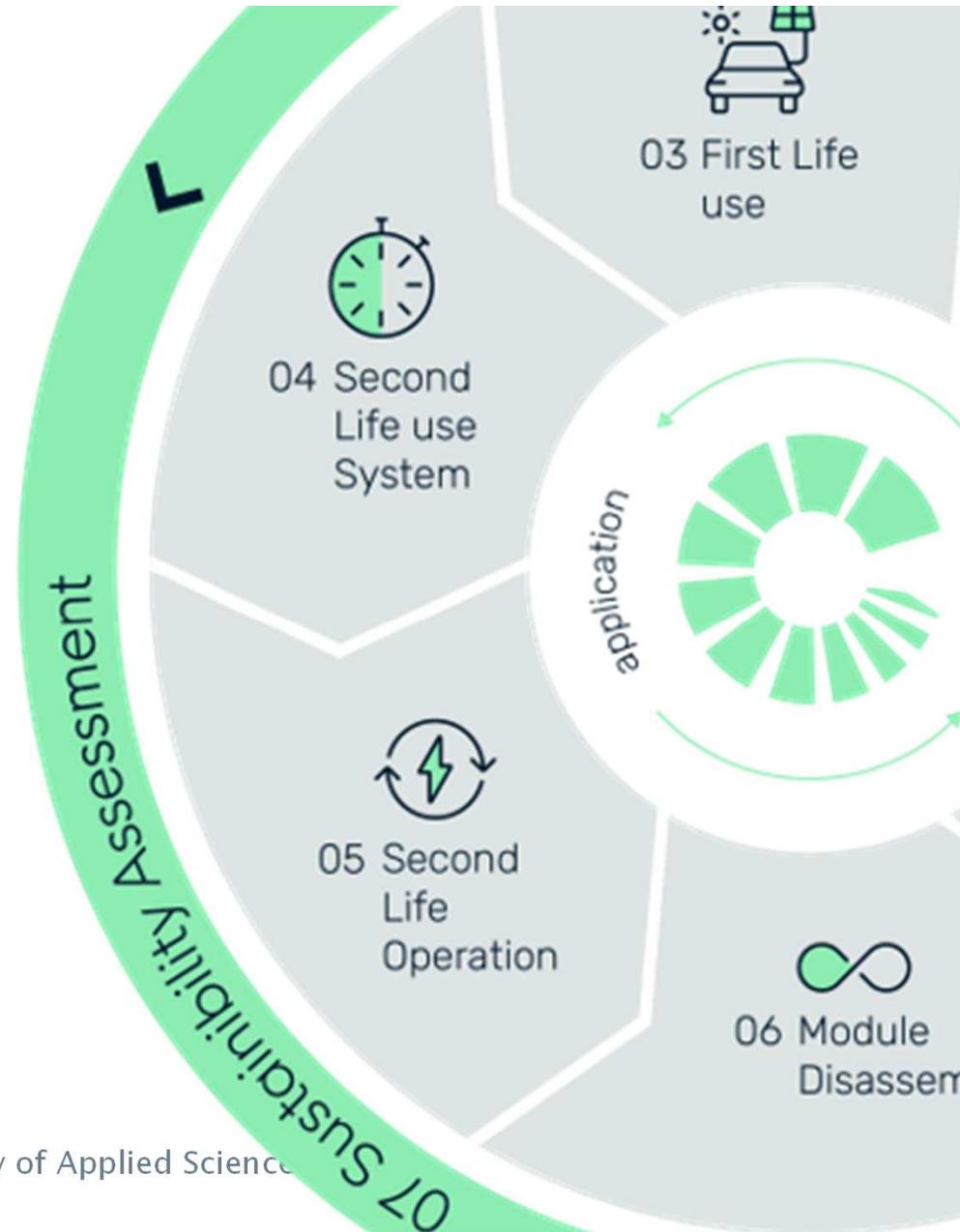
CircuBAT

Modèle suisse d'économie circulaire pour les piles automobiles
au lithium



Le projet CircuBAT

- développe pour la Suisse un modèle d'économie circulaire pour les piles au lithium de l'électromobilité.
- développe des solutions pour l'amélioration de l'écobilan des batteries des véhicules électriques.
- crée des accumulateurs d'énergie pour la transition énergétique.
- ménage de précieuses ressources.

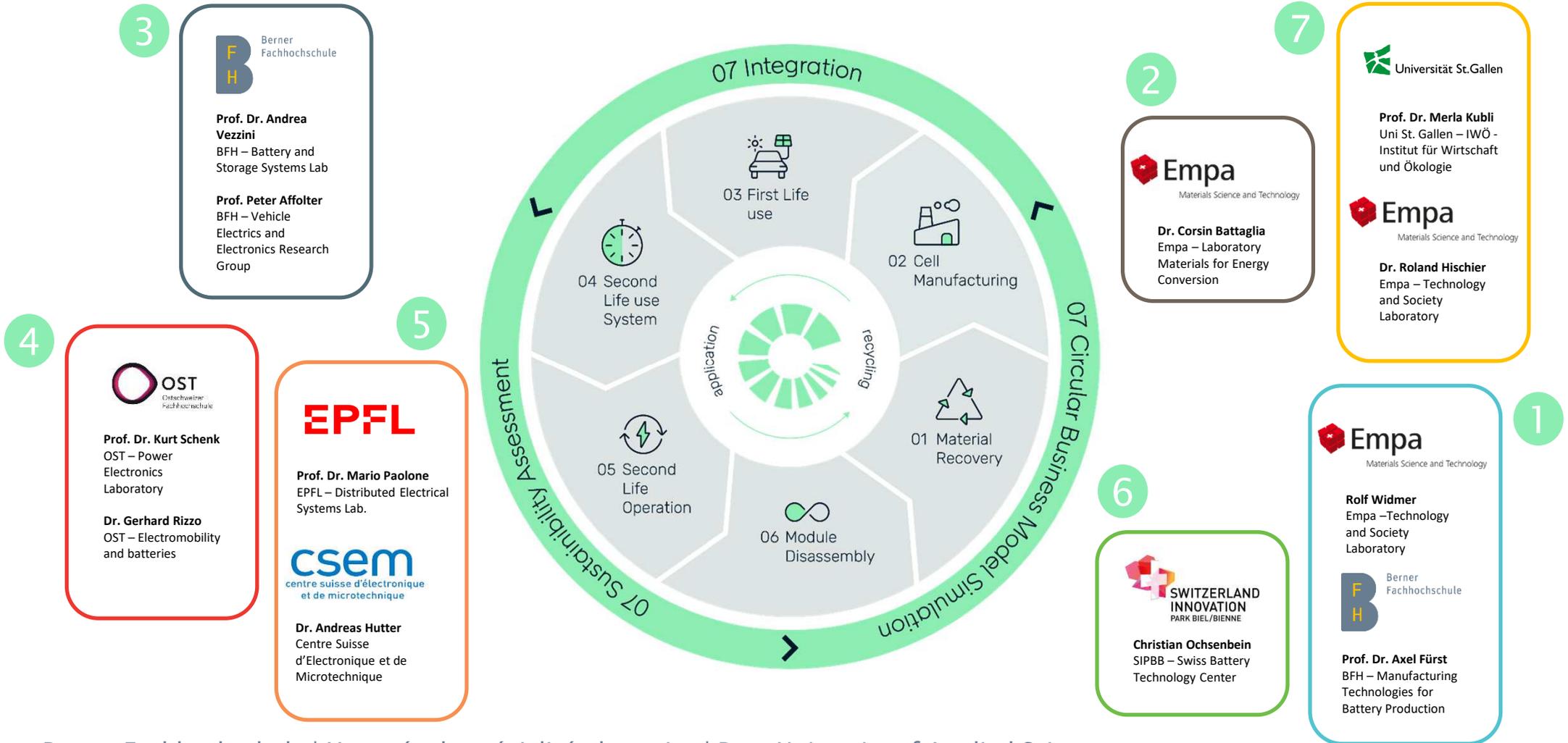


Modèle suisse d'économie circulaire pour les piles au lithium

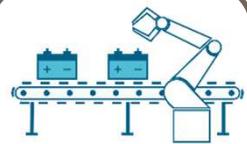
- élabore des solutions novatrices durant quatre ans, de début 2022 à fin 2025.
- réunit 11 groupes de recherche de 7 institutions et est coordonné par la Haute école spécialisée bernoise BFH en tant que leading house.
- est financé par 24 partenaires et Innosuisse – l'agence suisse pour l'encouragement de l'innovation – avec un budget de CHF 7,54 millions.

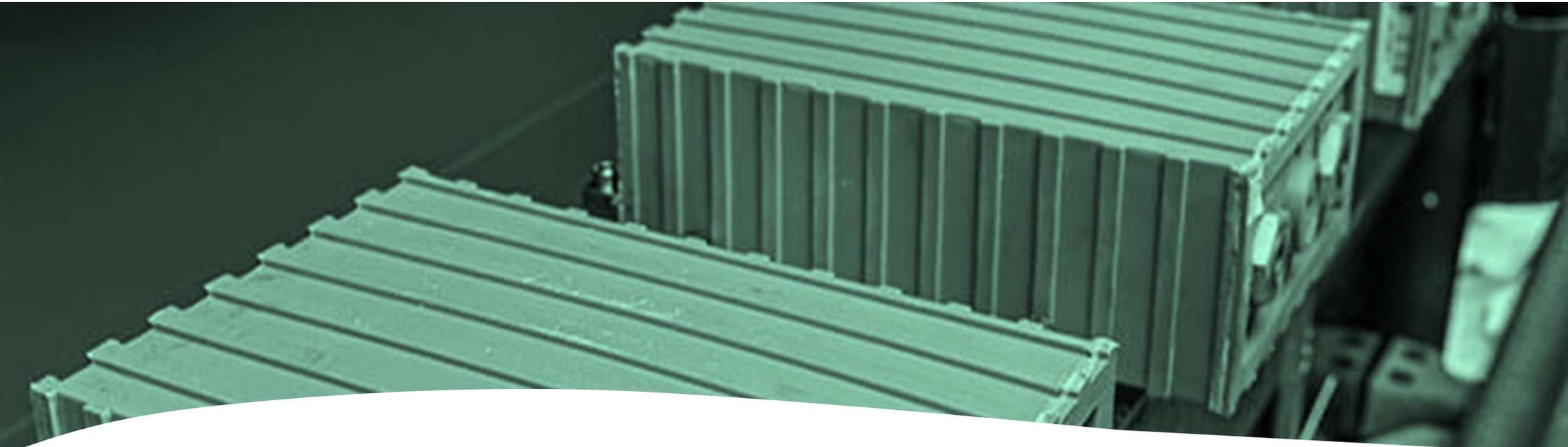


CircuBAT: projet phare d'Innosuisse



CircuBAT: partenaires industriels

03 First Life Use	04 Second Life Use Systems	05 Second Life Operation	06 Module Disassembly & Component Recovery:	01 Cell Disassembly & Materials Recovery:	02 Materials Refurbish. & Cell Re-manufacturing:	07 Sustainable Business Model
 <p>Thömus upVOLT Second Life Batteries</p> <p>KYBURZ</p> <p>GREEN CUBES TECHNOLOGY</p> <p>mobility</p> <p>TCS LIDL</p> <p>FPT POWERTRAIN TECHNOLOGIES</p> <p>EFORCE</p> <p>Fleet Operators with large Electric Fleet</p>	 <p>INDRIVETEC Innovative Drive Technologies AG High-performance storage inverters</p> <p>GREEN CUBES TECHNOLOGY Leading US Forklift Battery Manufacturer</p> <p>EV companies and Mobility Provider</p>	 <p>SWISS ENERGYPARK</p> <p>Innovation, research and demonstration platform</p> <p>BKW LA GOULE</p> <p>Safe and reliable integration of fluctuating renewable energy</p> <p>sun2wheel Second Life Storage System Startup</p> <p>Energy Providers, Grid Operators and Storage System Manufacturers</p>	 <p>Leclanché Energy Storage Solutions Lithium-ion battery cell manufacturer</p> <p>librec Closed-loop Battery Recycling LitoRec processes – LIBREC AG</p> <p>upVOLT Second Life Batteries Battery upcycling - upVOLT GmbH</p> <p>STIFTUNG AUTO RECYCLING SCHWEIZ Stiftung Auto Recycling Schweiz</p> <p>Recycling Companies</p>	 <p>KYBURZ Electric vehicle manufacturer</p> <p>IMERYS TRANSFORM TO PERFORM Supplier of carbon materials for lithium-ion batteries</p> <p>Leclanché Energy Storage Solutions Lithium-ion battery cell manufacturer</p> <p>BUHLER Innovative production of lithium-ion batteries</p> <p>Material Companies</p>	 <p>Leclanché Energy Storage Solutions Lithium-ion battery cell manufacturer</p> <p>BUHLER Slurry processing equipment manufacturer</p> <p>Battery Manufacturers</p>	 <p>Bern Economic Development Agency</p> <p>SNV standards connect the world</p> <p>e s m ENTWICKLUNGSFONDS SELTENE METALLE</p> <p>TCS</p> <p>STIFTUNG AUTO RECYCLING SCHWEIZ</p> <p>IBATT</p> <p>Associations, Regulators, Society</p>



01

Récupération des matériaux

- La Suisse est pionnière pour les solutions systémiques pour des flux de déchets complexes, p.ex. les déchets électroniques.
- La plupart des matières premières, y compris des matières premières critiques des piles au lithium (LIB) peuvent aujourd'hui être recyclées à 90%.
- Objectifs du projet: qualité maximale des matériaux recyclés (battery grade), processus de traitement respectueux de l'environnement (à base d'eau), technologie à la portée des PME.

Partenaires industriels, leurs contributions au projet

- **Kyburz** (constructeur de véhicules électriques légers) met à disposition son installation de recyclage P&D pour des expériences et fournit des matériaux recyclés aux participants.
- **Imerys** (spécialiste du carbone – p.ex. graphite) optimise la qualité des matériaux (composition, morphologie, propriétés électrochimiques, etc.), pour s'adresser à différents marchés de matières premières.
- **Leclanché** (spécialiste des solutions d'accumulation d'énergie basées sur des LIB) étend sa gamme d'électrodes pour LIB, afin de permettre un recyclage à base d'eau.



Partenaires de recherche, leurs contributions

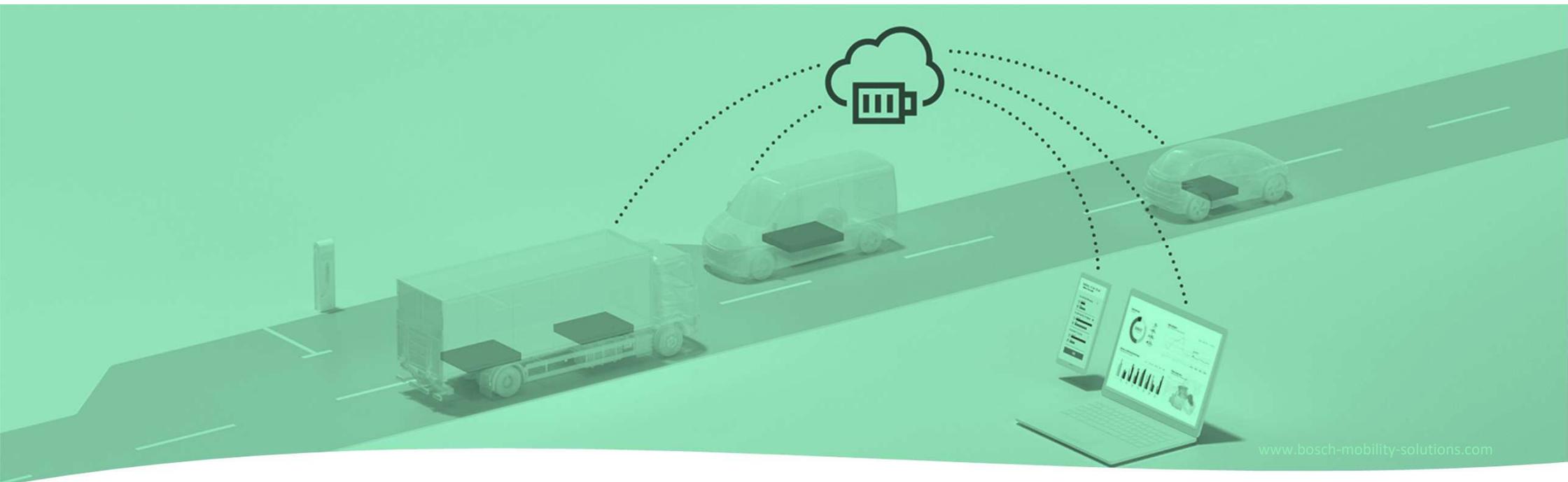
- **Empa** - Technology & Society Lab – dirige le sous-projet 1 – réalise des essais de laboratoire, analyse les matériaux récupérés comme le graphite, les oxydes métalliques et les sels de lithium.
- **BFH** – groupe de recherche optimisation des processus industriels et mécatronique – simule, à l’aide de modèles informatiques, la transposition des essais de laboratoire à l’échelle industrielle.



Calendrier



- Phase 1
 - Versions de laboratoire des traitements à base d'eau.
 - Etudes relatives à la sécurité et à l'hygiène.
 - Assurance qualité (échantillonnage et analytique).
- Phase 2
 - Essais sur une installation P&D, notamment pour l'extension à d'autres technologies LIB.
- Phase 3
 - Standardisation des processus et des installations.



03 Première utilisation dans un véhicule | Objectif

- Allongement de la durée d'utilisation des piles au lithium pour leur première utilisation, grâce à des systèmes experts basés sur les données.
- Développement de critères pour l'évaluation fiable des batteries, afin de garantir une deuxième utilisation ou leur recyclage.

03 Première utilisation | Modèles pour le vieillissement des batteries

- Modèles de données statistiques enregistrés de manière décentralisée sur la batterie, pour la première utilisation.
- Modèles de la vitesse de vieillissement basés sur les données collectées de véhicules électriques des partenaires du projet.
- Propositions d'optimisation pour les propriétaires de parcs automobiles et les clients finaux, afin de prolonger la durée d'utilisation au moyen d'intelligence artificielle.
- Validation d'un système expert sur différents véhicules et parcs automobiles pilotes et de démonstration.

Etude préliminaire sur la base de mégadonnées d'accus de vélos électriques

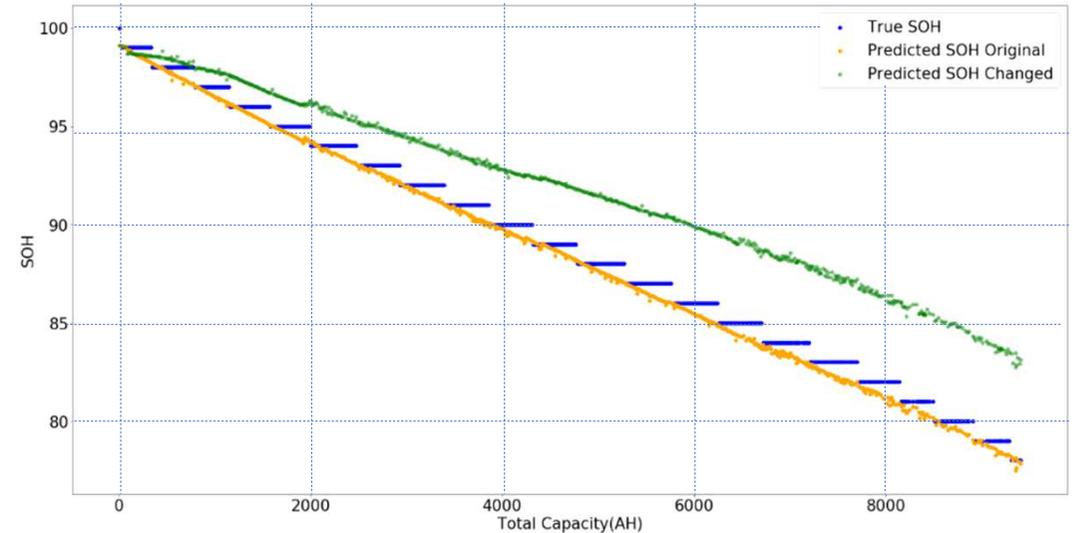
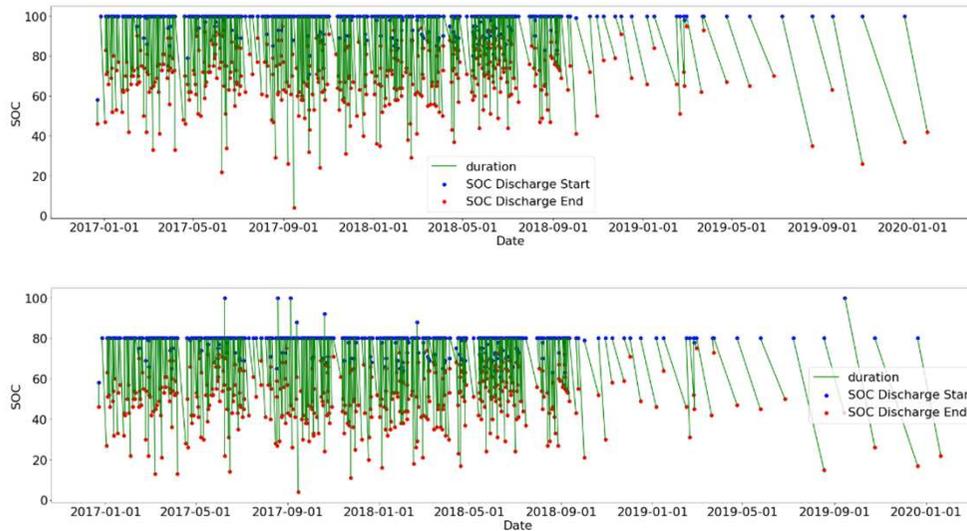
- ▶ Accus des principales marques du marché de niche des vélos électriques rapides
- ▶ Batterie BQ983: accu Li-ion
 - ▶ 983Wh/48,9V/4,8 kg
 - ▶ Standard industriel cellules 18650 (13s6p), 20,1Ah



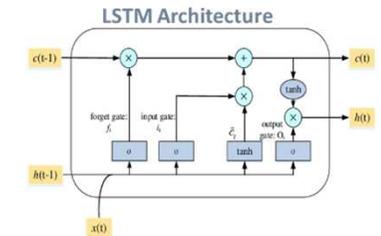
Battery Type	No# of batteries	No# of cycles
A	12'778	1'201'717



Allongement de la première utilisation avec un système expert

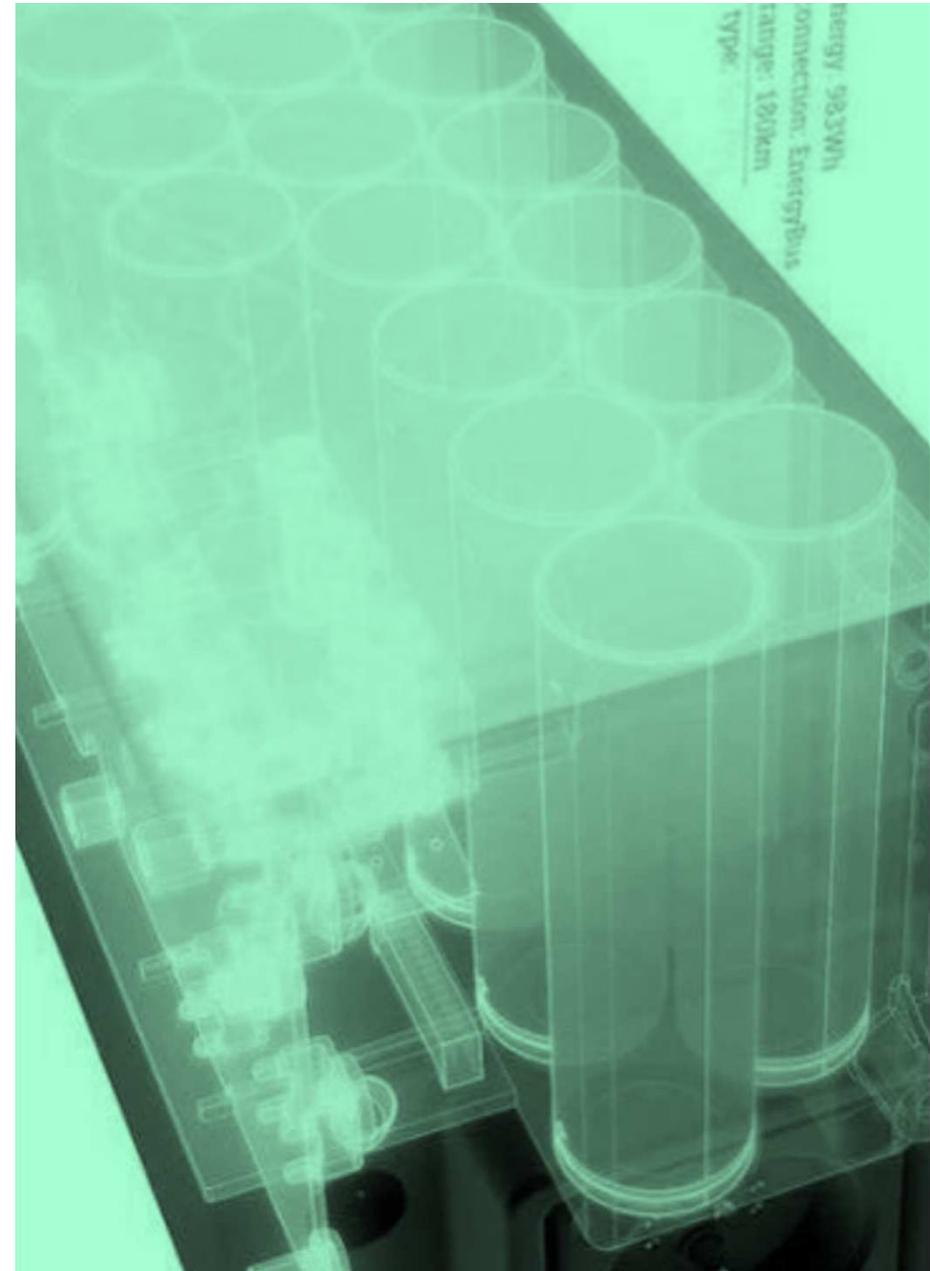


- ▶ Un réseau neuronal récurrent (Long Short-Term Memory (LSTM)) a été entraîné avec une partie des données de batteries (variance élevée des conditions d'utilisation et SOH dans le jeu de données).
- ▶ Quelques jeux de données ont été modifiés avec une stratégie de charge optimisée, sans réduire les performances.



03 Première utilisation | Avantages des modèles

- Réduction de l'empreinte écologique des batteries, grâce à une première utilisation allongée.
- Création de stimulis pour l'innovation, approches pour des utilisations supplémentaires grâce à des standards de performance robustes et à des garanties.



Management Team Battery and Storage Systems Lab



Prof. Andrea Vezzini
Head

- ▶ Professor for Industrial Electronics since 1996 at Bern University of Applied Sciences
- ▶ President iBAT.swiss – Battery Research and Industry Association Switzerland
- ▶ Member of the Federal Energy Research Commission (CORE) since 2015
- ▶ Head of the BFH Energy Storage Research Centre since 2014
- ▶ Deputy Head of the Swiss Competence Center for Energy Research “Mobility” 2013 - 2020



Dr. Priscilla Caliandro
Co-Managing Director

- ▶ Managing Co-Director of BFH Energy Storage Research Center since April 2019 at Bern University of Applied Sciences
- ▶ Responsible of electrochemical characterization and testing of Li-ion batteries and batteries modelling
- ▶ Postdoctoral research at École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) from 2018 to 2019
- ▶ PhD at École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) from 2013 to 2018



Christian Ochsenbein
Co-Managing Director

- ▶ Managing Co-Director of BFH Energy Storage Research Center since November 2018 at Bern UAS
- ▶ Successfully completed the first circumnavigation of the world in a solar boat
- ▶ 10 years in the field of electric mobility and battery research and development at start-ups such as Designwerk in Winterthur
- ▶ Head of the Swiss Battery Technology Center at the Switzerland Innovation Park Biel/Bienne



Bruno Lemoine
Project Manager

- ▶ Joined BFH – Energy Storage Research Center in May 2021
- ▶ Master in Materials science and engineering with a minor in energy at EPFL from 2019 to 2021
- ▶ Data scientist intern at Mercury systems in 2020
- ▶ Master thesis at RUAG Space in 2021
- ▶ Deputy during the Maternity Leave of Priscilla Caliandro



Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences



Je vous remercie de votre attention!

Prof. Andrea Vezzini

Questions: andrea.vezzini@bfh.ch

<http://www.bfh.ch/energy> | <http://www.circubat.ch>

► BFH Energy Storage Research Centre