# Journée Scientifique Nationale 2018
# GT Micro-réseaux

# PROGRAMME

*9h00 : Accueil, café*

*Visite de la plateforme STELLA*

# PROGRAMME

***9h00 : Accueil, café et visite de la plateforme STELLA***

**Session plénière** (amphithéâtre Centre d'Innovation)

**10h00 :** Ouverture de la journée

**10h10 : T. DHAINAUT**, ENEDIS Picardie Directeur adjoint ingénierie

**11h00 : B. DELINCHANT** (G2Elab) et **S. BOURGUET** (IREENA)

**11h30 : S. PELISSIER** (IFSTTAR) et **C. FORGEZ** (ROBERVAL-UTC)

***12h00 : Déjeuner (buffet convivial) et visite de la plateforme STELLA***

**Sessions parallèles** (salles Centre d'Innovation)

**13h30 :** Session 1, chairman **R. ROCHE**, 6 présentations orales

**13h20 :** Session 2, chairman **F. OSSART**, 7 présentations orales

***15h30 : Pause-café et visite de la plateforme STELLA***

**Session plénière** (amphithéâtre Centre d'Innovation)

**16h00 :** Synthèse des travaux, chairmans **R. ROCHE** et **F. OSSART**

**16h20 :** Bilan du GT Micro-réseaux et nouvelle organisation, **M. SECHILARIU**

***17h00 : Fin de la journée***

# OUVERTURE DE LA JOURNÉE

Manuela SECHILARIU, Responsable GT Micro-réseaux

- GDR SEEDS

  GT Micro-réseaux depuis avril 2016

  Membres : 21 laboratoires (55 chercheurs)

# GDR SEEDS – GT Micro-réseaux

- Objectifs scientifiques
  - État de l'art sur les micro-réseaux en France
  - Positionnement international
  - Cartographies des compétences
  - Partenariats industriels
  - Réseaux de recherche européens et internationaux

- Résultats attendus
  - Une véritable coopération entre chercheurs
  - Des outils collaboratifs pour partager des données sur des plateformes technologiques, référencement d'articles, thèse, etc.

# GDR SEEDS – GT Micro-réseaux

- Activités
  - Réunions de travail

- Sessions spéciales MICROGRIDS
  - ELECTRIMACS 2017
  - ICRERA 2018

PARIS OCT 14-17, 2018

- Colloques Micro-réseaux
  - Workshop Microgrid - Smart Grid
  - Journée Scientifique Nationale

Scientific Workshop
Micro and Smart Grid

October 6th 2017 – Cité Descartes
Champs-sur-Marne, France

GT Micro-réseaux
JSN - 2018
9 juillet 2018, Compiègne, France

UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE DE COMPIEGNE
Laboratoire AVENUES EA 7284

# SESSION PLÉNIÈRE

- Le réseau public d'électricité en mutation pour faciliter la transition énergétique

**Thierry DHAINAUT**

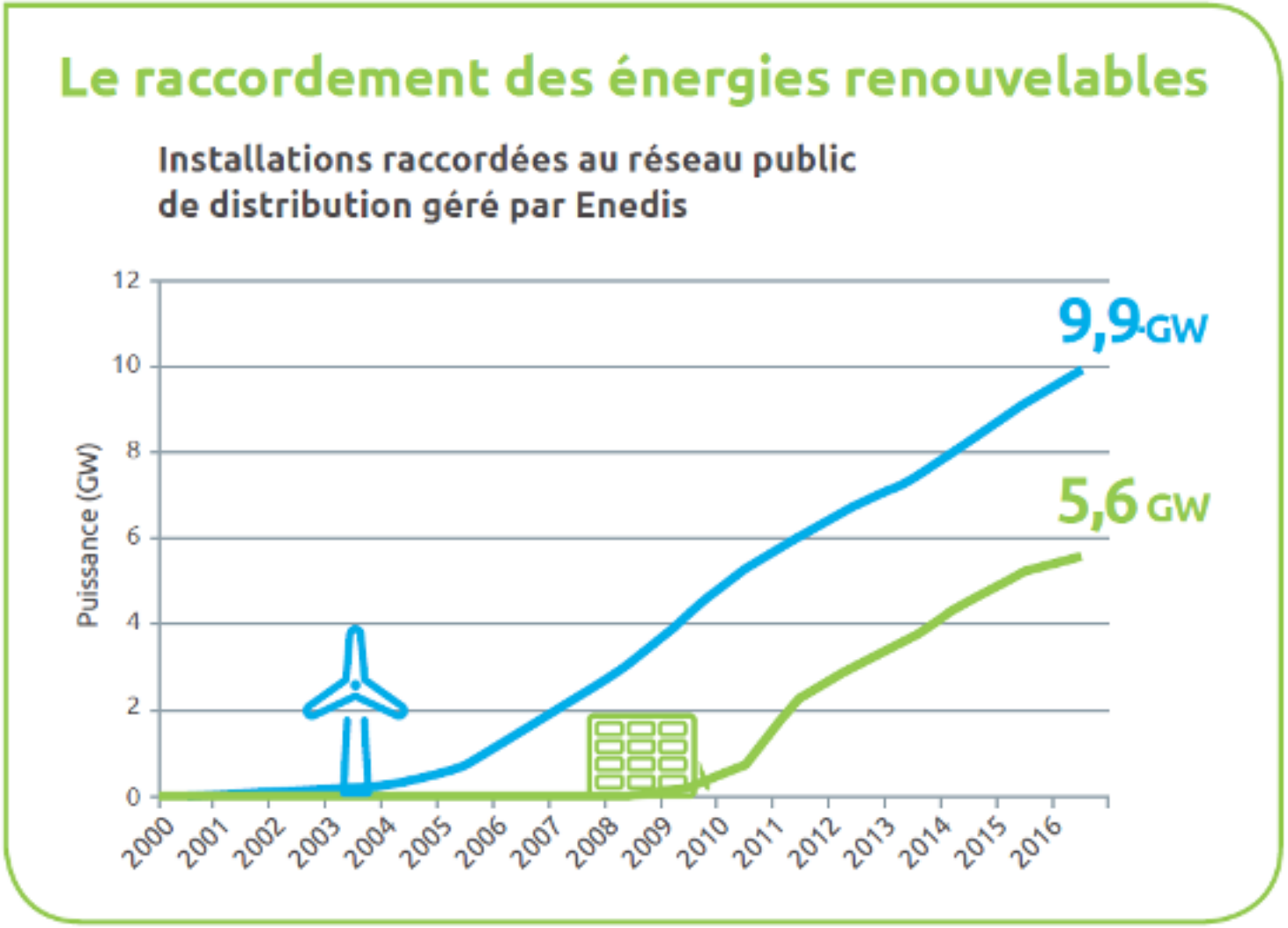
Directeur adjoint ingénierie, ENEDIS Picardie

# Le réseau public d'électricité en mutation pour faciliter la transition énergétique

***Journée Scientifique Nationale Micro-réseaux***

Université de Technologie de Compiègne, le 9 juillet 2018

# La nouvelle donne (1/2)



# La nouvelle donne (2/2)

## L'éolien

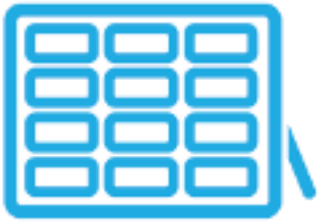
Puissance installée

**11,6 GW***
en 2016

**26 GW***
en 2023

* Giga Watt

## Le photovoltaïque



Puissance installée

**6,7 GW***
fin 2016

**20,2 GW***
en 2023

36% nouvelles demandes en auto-consommation

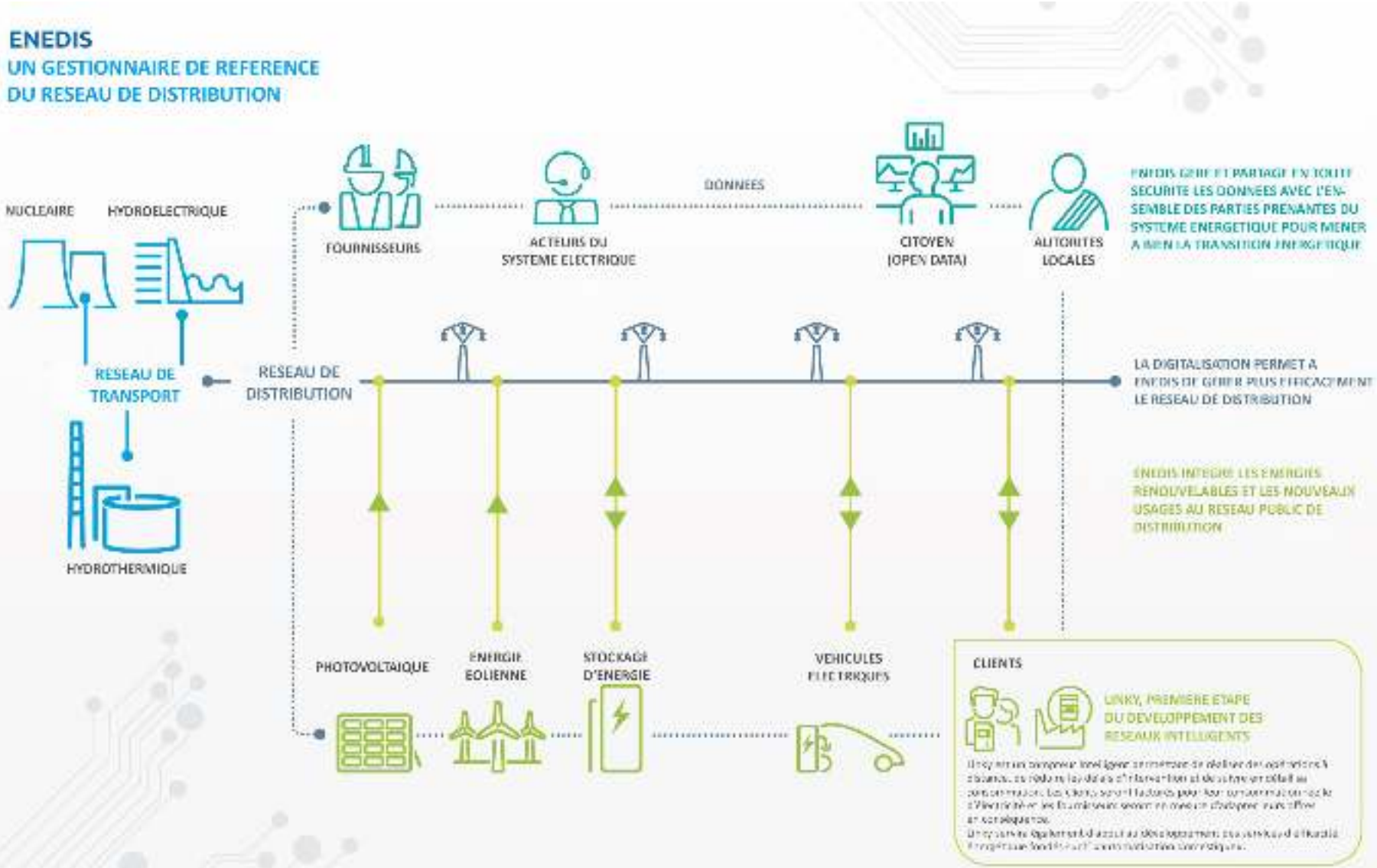
## Le véhicule électrique

**+ de 100 000**
à fin 2016

**2,4 millions**
en 2023

**Une bidirectionnalité des flux et une intermittence croissante à gérer tant au niveau de la production que de la consommation**

# Le DSO Enedis : un rôle de *neutral market enabler*



# Une vingtaine de démonstrateurs qui contribuent déjà à l'industrialisation de solutions Smart Grids

**BienVEnu** 1
Expérimentation de nouvelles solutions pour raccorder des bornes de recharge en résidentiel collectif

**Poste Intelligent** 2
Faciliter l'interface entre les gestionnaires de réseaux de transport et de distribution

**SoMel SoConnected** 3
Expérimentation de modèles d'activités en lien avec le déploiement de solutions smart grids en zone urbaine

**ISSYGRID** 4
Optimisation énergétique à l'échelle d'un quartier

**SMAP** 5
Facilitation du développement des ENR en zone rurale

**SOLENN** 6
Démultiplication des actions de MDE à l'échelle d'un territoire et développement d'alternatives au délestage

**Smart Grid Vendée** 7
Optimisation énergétique à l'échelle d'une collectivité territoriale

**Smart Electric Lyon** 8
Mise en œuvre de solutions aval compteur

**Nice Grid** 9
Contribution d'un quartier solaire intelligent. Gérer les pointes de consommation et tirer le meilleur du photovoltaïque

**Nice Smart Valley (Interflex)** 10
Expérimentation de nouvelles solutions en lien avec le réseau afin d'améliorer la fiabilité d'un système électrique local

**Smart Occitania** 27
Expérimentation de nouvelles solutions pour accompagner la transition énergétique dans les territoires ruraux

Projets réalisés

19 Smart Grid
20 Smarter Together
21 Flexiciency
22 evolvDSO
23 InterFLEX
24 ADVANCED
25 GRID4EU
26 TRANSFORM

**11 Linky**
Expérimentation sur près de 300 000 compteurs communicants

**12 Venteea**
Intégration de fortes capacités de production éolienne sur un réseau rural

**13 Nouat et Hoëdic**
Sécurisation de l'alimentation électrique de deux îles par répartition énergétique optimisée

**14 Watt & Moi**
Mise à disposition au client de données de consommation électrique sur un site Internet

**15 GreenLys**
Intégration amont/aval autour du compteur Linky en zone urbaine

**16 InfinitDrive**
Pilotage des infrastructures de recharge pour véhicules électriques

**17 Lyon Smart Community**
Gestion des véhicules électriques, des bâtiments et développement du photovoltaïque

**18 SOGRID**
Développement d'une chaîne de communication CPL (courant porteur de ligne) pour le pilotage du réseau de distribution

# Le déploiement des smart grids s'appuie sur une interaction forte entre Enedis et les acteurs du territoire

- La responsabilité des distributeurs consiste à faciliter le développement de cette filière en préservant la sécurité du réseau, à un coût collectif maîtrisé

- Les fonctionnalités des Smart Grids (effacement, écrêtement, flexibilités, etc.) **impliquent l'ensemble des parties prenantes** – consommateurs et producteurs – et amènent à imaginer de **nouveaux cadres contractuels** :
  - Solutions de raccordement spécifiques (ex. dispositifs d'écrêtement et pilotage dynamique)
  - Services systèmes (ex. injection de réactif)

- Le développement des Smart Grids s'accompagne du **déploiement d'un socle technique et fonctionnel propice à l'émergence de nouveaux businesses** portés par des acteurs de marché (ex. agrégation)

- **Enedis joue un rôle de facilitateur neutre** pour que les acteurs de la filière se positionnent sur des relais de croissance en développant services et produits innovants

- Elle s'associe pour cela aux acteurs académiques, institutionnels et économiques, en favorisant des **partenariats avec les startups**

# Le réseau de distribution public en évolution pour la mise en œuvre efficiente de la transition énergétique

…plus de résilience

- **Maillage national et fonction d'autocicatrisation** du réseau HTA (OMT)
- **Mobilisation de moyens nationaux** en cas d'aléas climatiques majeurs (FIRE)

…plus d'observabilité et de réactivité

- **Analyse du comportement du réseau BT** en temps quasi-réel (Linky) : qualité de fourniture, coupures, etc.
- **Déploiement de capteurs et d'automatismes** pour agir sur le système électrique et mieux accueillir les usages intermittents
- **Amélioration de la prévisibilité** des flux d'électricité, en production et soutirage

…plus de mise en synergie des « producers »

- **Appui au développement de l'autoconsommation collective** grâce au comptage communicant
- **Mise en réseau et foisonnement des flexibilités** (effacement, stockage, lissage des courbes de charge, etc.) à des échelles complémentaires (depuis la maille bâtimentaire jusqu'à l'interrégional)

…un socle technique pour le développement de nouveaux concepts énergétiques et de services associés

- **Plateforme open-data** pour éclairer les acteurs du territoire sur la mise en œuvre des politiques énergétiques
- **Comptage communicant** pour « outiller » les consom'acteurs
- **Dispositifs d'échange d'informations** pour faciliter le raccordement des nouveaux usages

**Thierry DHAINAUT**
Direction Régionale Picardie
Adjoint au Directeur - Raccordement Ingénierie
thierry.dhainaut@enedis.fr

## Retrouvez-nous sur Internet

enedis.fr

enedis.officiel

@enedis

enedis.officiel

# SESSION PLÉNIÈRE

- GT Optimisation des systèmes complexes et hétérogènes

  **Benoît DELINCHANT**, G2Elab

  **Salvy BOURGUET**, IREENA

Systèmes d'Énergie Électrique dans
leurs Dimensions Sociétales GDR 2994

# GT Optimisation des systèmes complexes et hétérogènes

Benoit Delinchant et Salvy Bourguet

Journée Scientifique Nationale
GT Micro-réseaux, UTC, 9 juillet 2018

# Plan

- Organisation du GT
- Objectifs du GT
- Illustration par l'exemple
  - Enjeux et objectifs en conception
  - Conception et critères sociaux
  - Optimisation globale du dimensionnement et de la gestion
  - Approches multi-échelles multi-niveaux
  - Tutoriaux
- Questions et discussions

# Organisation

- Lancement en mars 2016
- Page web seeds.cnrs.fr : Systèmes complexes et hétérogènes du GE
- Organisation :
  - Animateurs : Salvy & Benoit
  - Rencontres (à Paris) : 2 à 3 fois par an.
  - En général 3 à 4 présentations. Tutorial d'½ journée.
  - Mélange jeunes chercheurs et expérimentés
  - Discussions et travail en groupes (benchmark…)
- Effectif croissant :
  - 45 abonnés *(liste : gt-seeds-optimisation-systemes-complexes)*
  - 25 participants au dernier séminaire
- GT transversal, en interactions avec les autres GT

# Prochaine réunion

## GT Optimisation de systèmes complexes et hétérogènes

9h -10h : Accueil

10h -11h : Florence Ossart (GeePs) « **Programmation dynamique stochastique** appliquée à la gestion des véhicules hybrides sur cycle incertain »

11h -12h : Youness Ritmi (Laplace) « **L'optimisation topologique et paramétrique** des structures magnétiques : application aux propulseurs plasmiques des satellites »

12h -14h : Déjeuner

14h - 16h : Pierre-Alain Yvars (SupMeca) et Laurent Zimmer (Dassault-Aviation) « **DEPS, un langage pour la spécification de problèmes pour la conception de systèmes** »

16h - 17h : Discussions, organisation des futures réunions et actions du GT.

# Laboratoires participants

- IREENA (Saint Nazaire)
- G2ELab (Grenoble)
- L2EP (Lille)
- SATIE (Renne)
- LAPLACE (Toulouse)
- LEC/Roberval (Compiègne)
- GeePs (Paris)
- FEMTO-ST (Belfort)
- *? Ampère ?*
- *? Green ?*
- *? iRDL ?*
- …

# Objectifs du GT

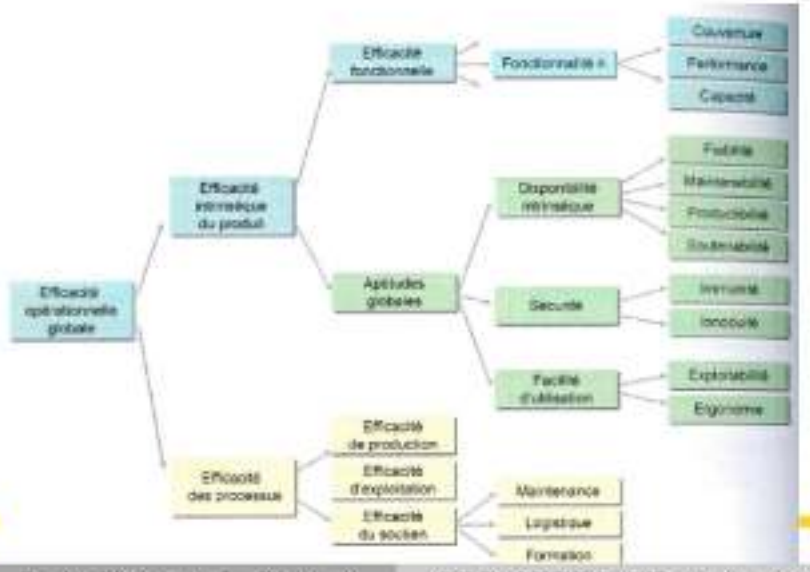
- Objet d'étude : méthodes/méthodologies de modélisation, simulation et d'optimisation pour la conception et le pilotage des systèmes du génie électrique
- Objectif du GT : animer la communauté !
  - Présentation de l'état de l'art
  - Diffusion des travaux en cours
  - Tutoriaux autour d'outils
  - Travail collaboratif autour de benchmark

# Enjeux et objectifs en conception

**Illustration par l'exemple**

# Problématique scientifique

- Problèmes de conception de plus en plus difficile
  - Augmentation des exigences fonctionnelles (poids, coûts, encombrements, complexité, interconnexions)
  - Prise en compte d'exigences non-fonctionnelles (durée et cycle de vie, éco-conception, SdF, fiabilité et sécurité)
  - Besoin d'équipes multi-compétences : problèmes multiphysiques, interdisciplinaires, forte collaboration métiers/méthodes...




4/40

A. Hubert, Y. Meyer, P.-A. Yvars et L. Zimmer — GDR SEEDS GT 16, 9 novembre 2017, UTC Paris

## Quel problème de conception ?

4 grandes classes de problèmes en conception (Yvars/Zimmer) :

- Dimensionnement (*Sizing*) :
  - *Instancier* toutes les variables de conception pour tous les sous-sytèmes *donnés* pour atteindre les exigences du CdC
- Configuration (de composants) :
  - Composants *pré-définis* + contraintes de *compatibilités*
  - Choisir le bon nombre et le bon type de composants et sous-systèmes pour construire le système complet
- Allocation (de ressources à des tâches) :
  - Ex : allouer des processeurs à des processus (allouer R à T)
  - Projeter des fonctions sur des composants (projeter T sur R)
- Génération d'architecture :
  - Choisir les meilleurs sous-systèmes et composants, et en même temps les dimensionner pour construire le système complet

7/40

A. Hubert, Y. Meyer, P.-A. Yvars et L. Zimmer — GDR SEEDS GT 16, 9 novembre 2017, UTC Paris

Enjeux et nouveaux besoins en conception préliminaire optimale des systèmes complexes. **Arnaud Hubert (UTC)**, Y. Meyer (UTBM), Pierer-Alain Yvars (SupMeca), Laurent Zimmer (Dassault Aviation)

# Quelles approches et quels modèles ?

## Objectifs des travaux

- Sortir du « paradigme tout analyse » (*Point to point design*)
- Gérer simultanément le *Problem setting* et le *Problem solving*

## Les avantages attendus

- Réduire les itérations et les temps de conception
- Tenir compte des (nombreuses) spécifications, notamment non-fonctionnelles
- Aider le concepteur à « formaliser » son problème de conception
- Déterminer des concepts respectant intrinséquement le CdC
- Inclure une couche optimisation dès la phase préliminaire
- Gérer la robustesse de la solution proposée (prise en compte des incertitudes sur les degrés de liberté de la conception)
- Sortir du « poids » de l'histoire de l'entreprise (innovation)

23/40

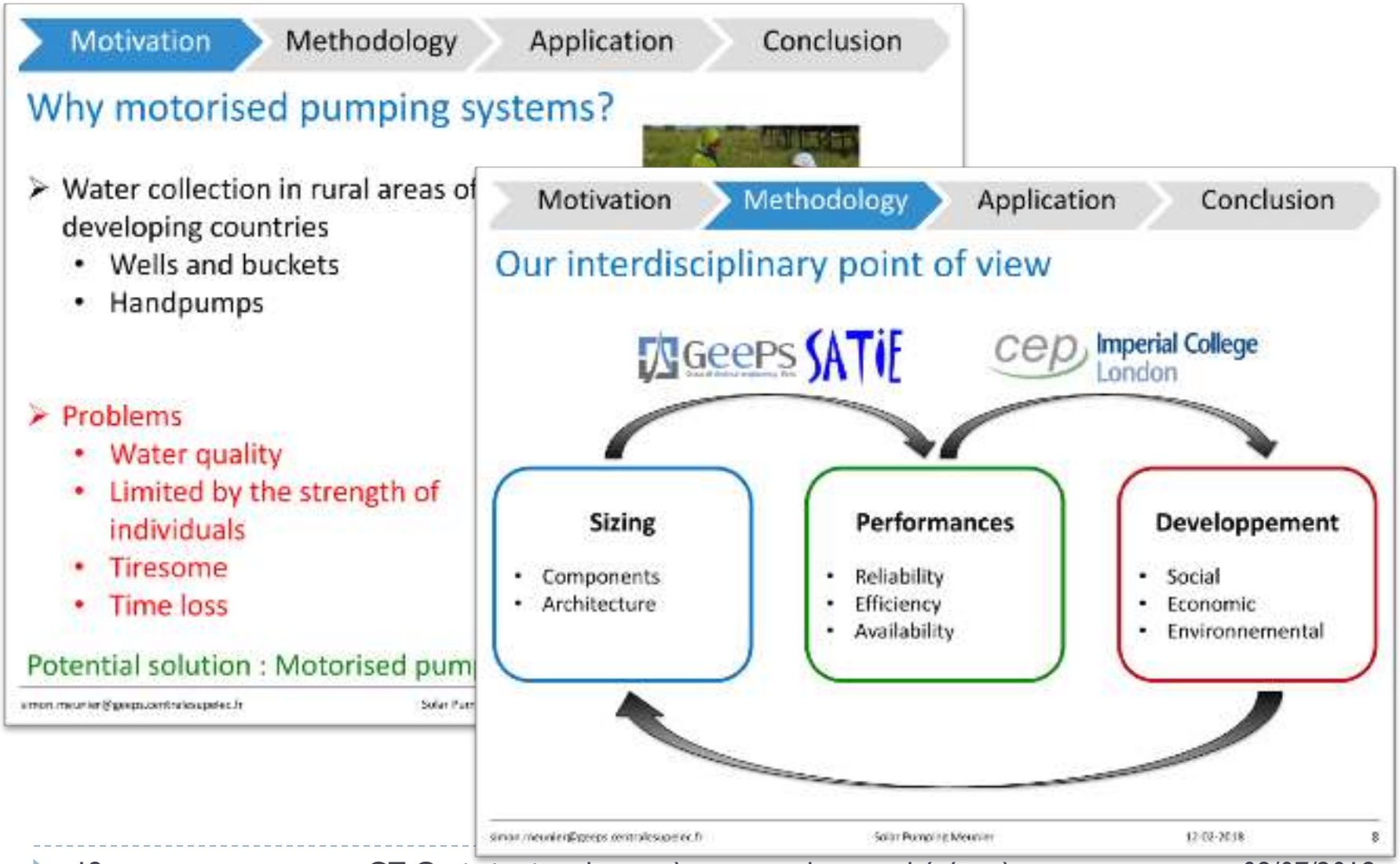
A. Hubert, Y. Meyer, P.-A. Yvars et L. Zimmer — GDR SEEDS GT 16, 9 novembre 2017, UTC Paris

# Conception et critères sociaux

**Illustration par l'exemple**

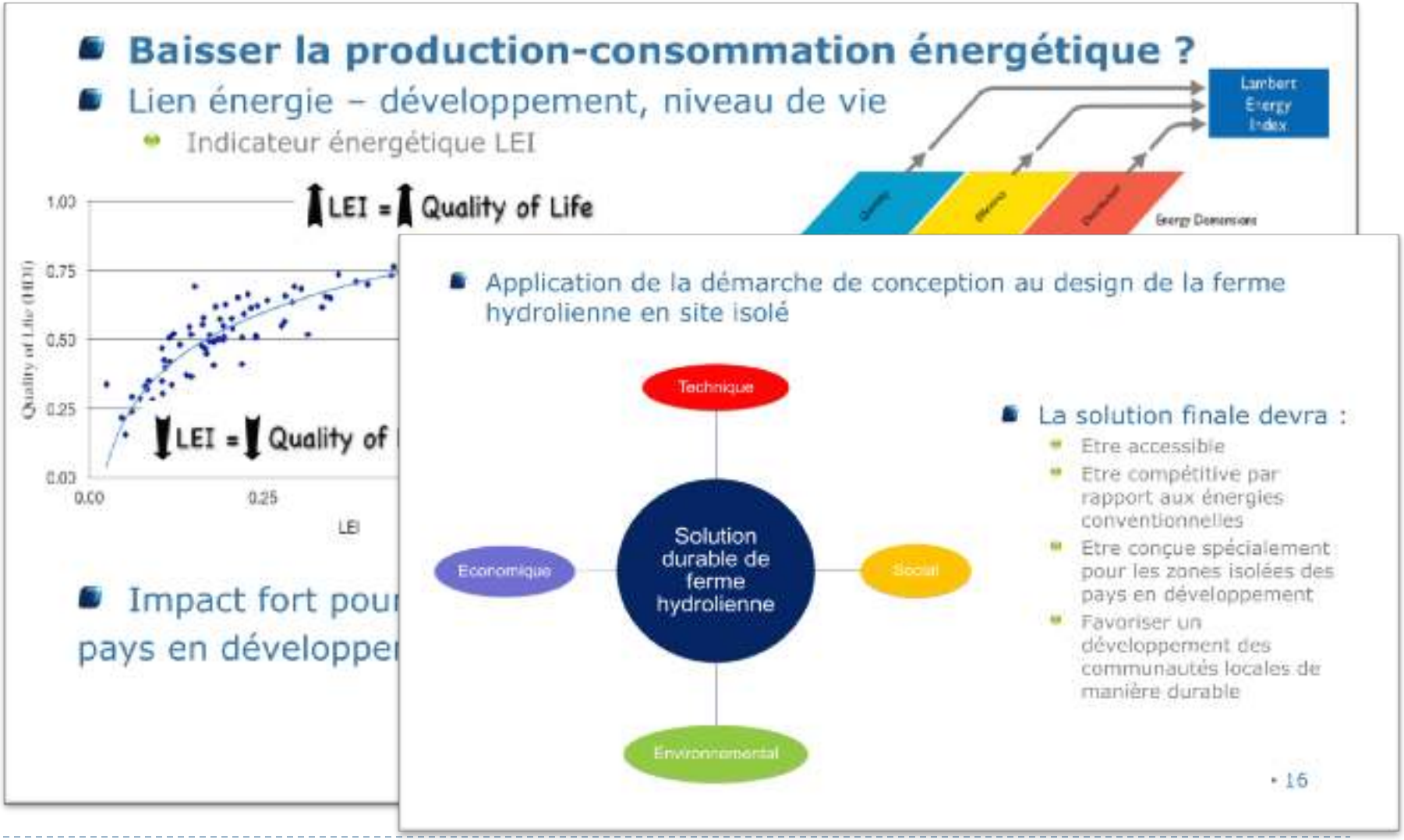
# Analyse interdisciplinaire du pompage solaire dans les communautés rurales

**Simon Meunier**, C. Marchand, L. Quéval, Ph. Dessante, J. Cherni, L. Vido,



# Conception durable d'une solution de ferme hydrolienne en réseau isolé pour pays en développement

**Kathleen Mallard**, Lauric Garbuio, Vincent Debusschere



# Optimisation globale du dimensionnement et de la gestion

**Illustration par l'exemple**

# Gestion des systèmes énergétiques multi-sources. Application aux trains hybrides électriques et autonomes

**Marie POLINE**, Laurent GERBAUD, Julien POUGET, Frédéric CHAUVET

- Solution : ajouter du stockage en embarqué
- Ava

Système de stockage

Moteur diesel

- Etapes :

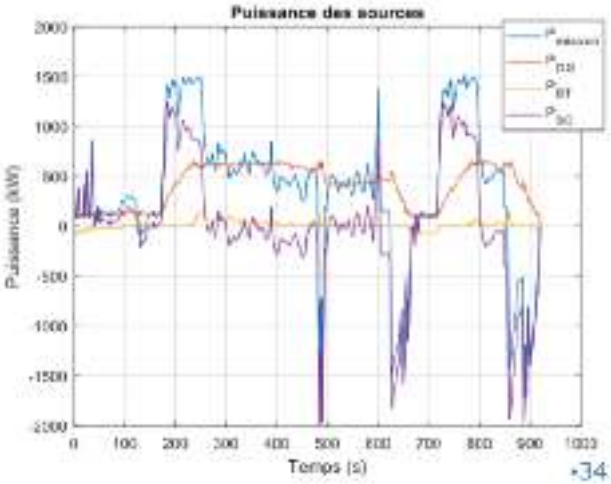
Mission

Dimensionne des sourc

Mission ($P_{mission}$)

- **Cas d'étude :**
  - Train hybride composé d'un groupe diesel, de batteries et de supercondensateurs
  - Gestion utilisée : fréquentielle et programmation dynamique

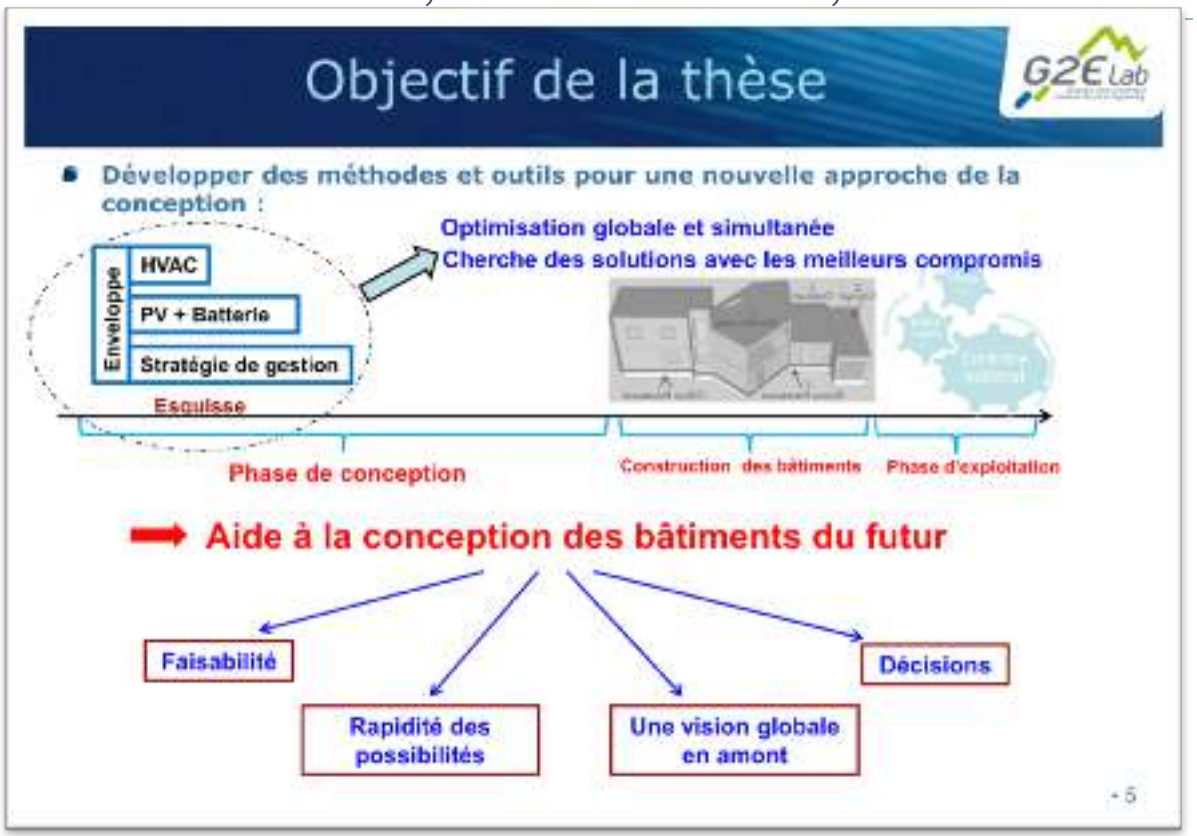
| Variables | Résultat |
|---|---|
| Fréquence de coupure du filtre passe-bas | 0,001 Hz |
| Nombre de cellules de supercondensateurs | 7 250 |
| Nombre de cellules de batteries | 484 |
| Puissance nominale du groupe diesel | 650kW |
| Consommation sur une mission | 25L |
| Volume des sources | 40m³ |
| Masse des sources | 13T |
| Coût total actualisé sur 30 ans | 5 900k€ |




34

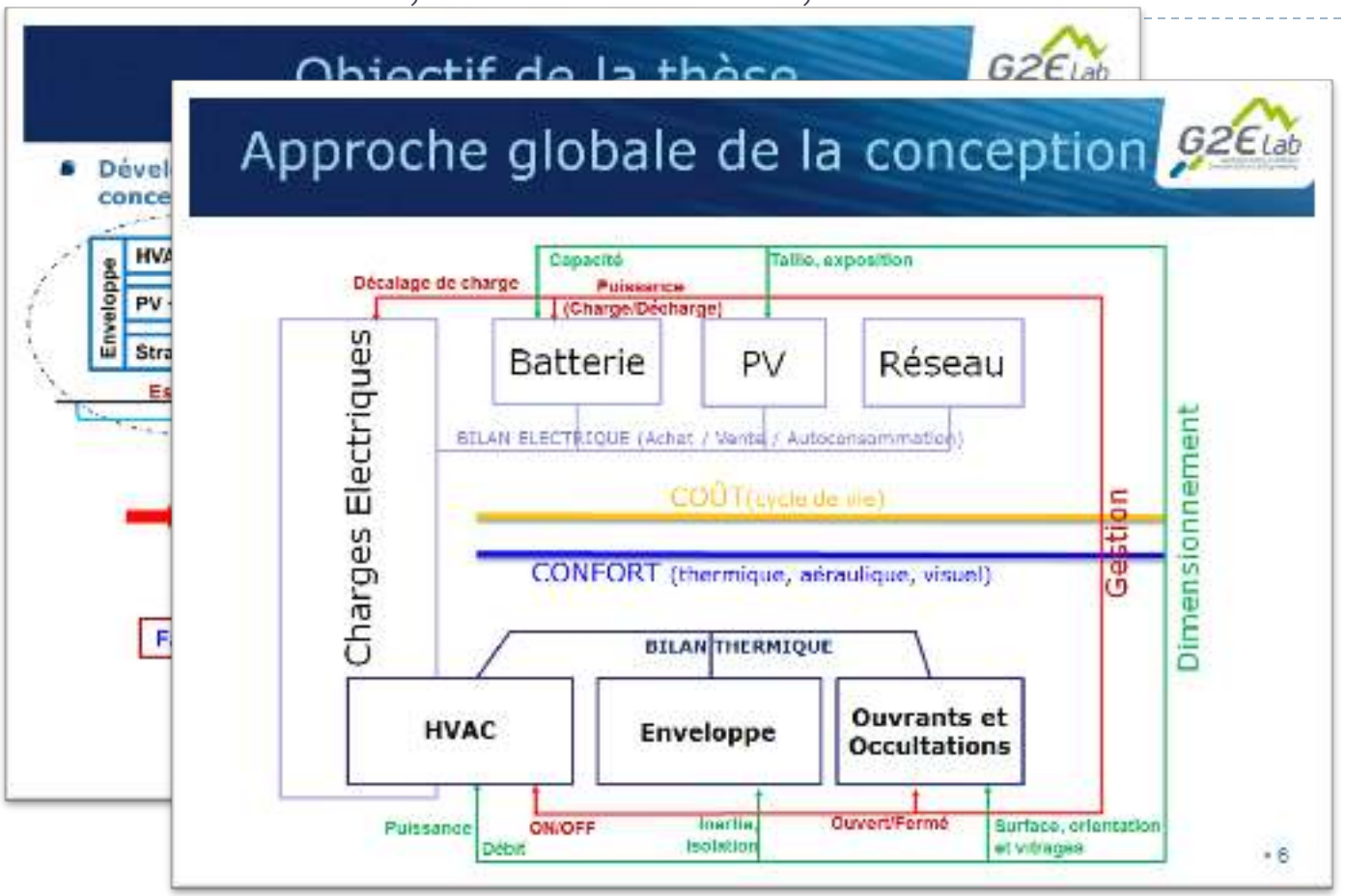
# Dimensionnement et gestion des bâtiments et des systèmes énergétiques

**Van Binh Dinh**, Benoit Delinchant, Frédéric Wurtz



# Dimensionnement et gestion des bâtiments et des systèmes énergétiques

**Van Binh Dinh**, Benoit Delinchant, Frédéric Wurtz



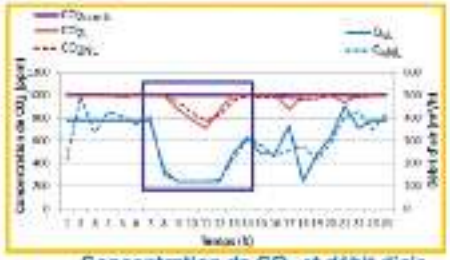
# Dimensionnement et gestion des bâtiments et des systèmes énergétiques

**Van Binh Dinh**, Benoit Delinchant, Frédéric Wurtz

## Approche linéaire et non linéaire
### Résultats

**Solutions :**

Par SQP : inconfort = 0.057°C.h et coût_energie = 5.2€
Par MILP : inconfort = 0°C.h et coût_energie = 5.4€



Concentration de $CO_2$ et débit d'air

**Performances**

| Approche | Lignes code | Nombre variables (continues/ binaires | Nombre contraintes | Temps de calcul (s) |
|---|---|---|---|---|
| Non linéaire | 547 | 72/0 | 72 | 2.00 |
| Linéaire | 3859 | 554/111 | 660 | 0.73 |

**Approche non linéaire :**
- × Moins rapide
- ✓ Plus facile à formuler et à déboguer

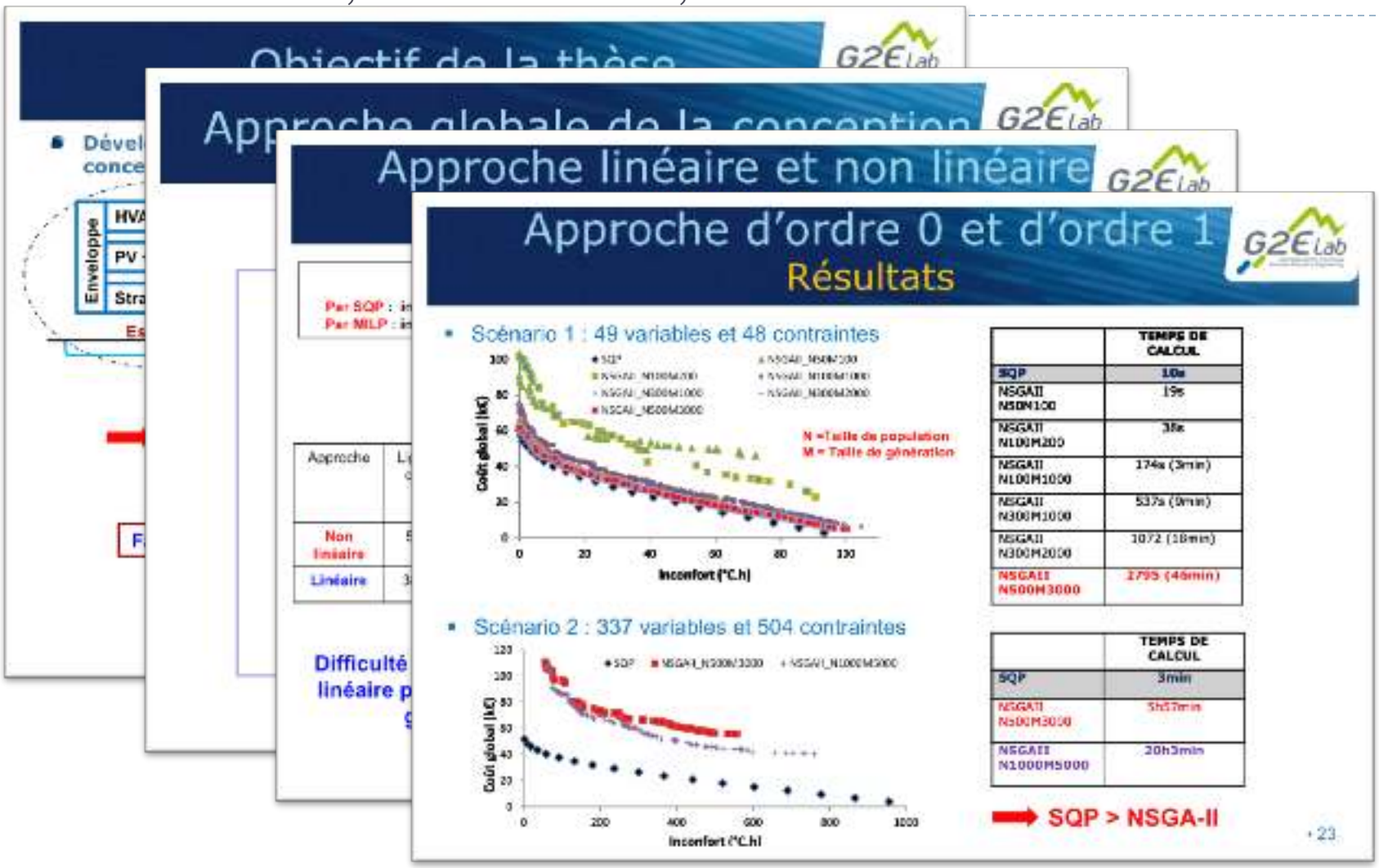
**Approche linéaire :**
- ✓ Plus rapide et efficace
- × Coûteuse à formuler
- × Nécessite des connaissances/techniques
- × Plus difficile à déboguer

**Difficulté multipliée avec l'approche linéaire pour les problèmes de plus grande complexité**

→ **L'approche non linéaire est choisie**

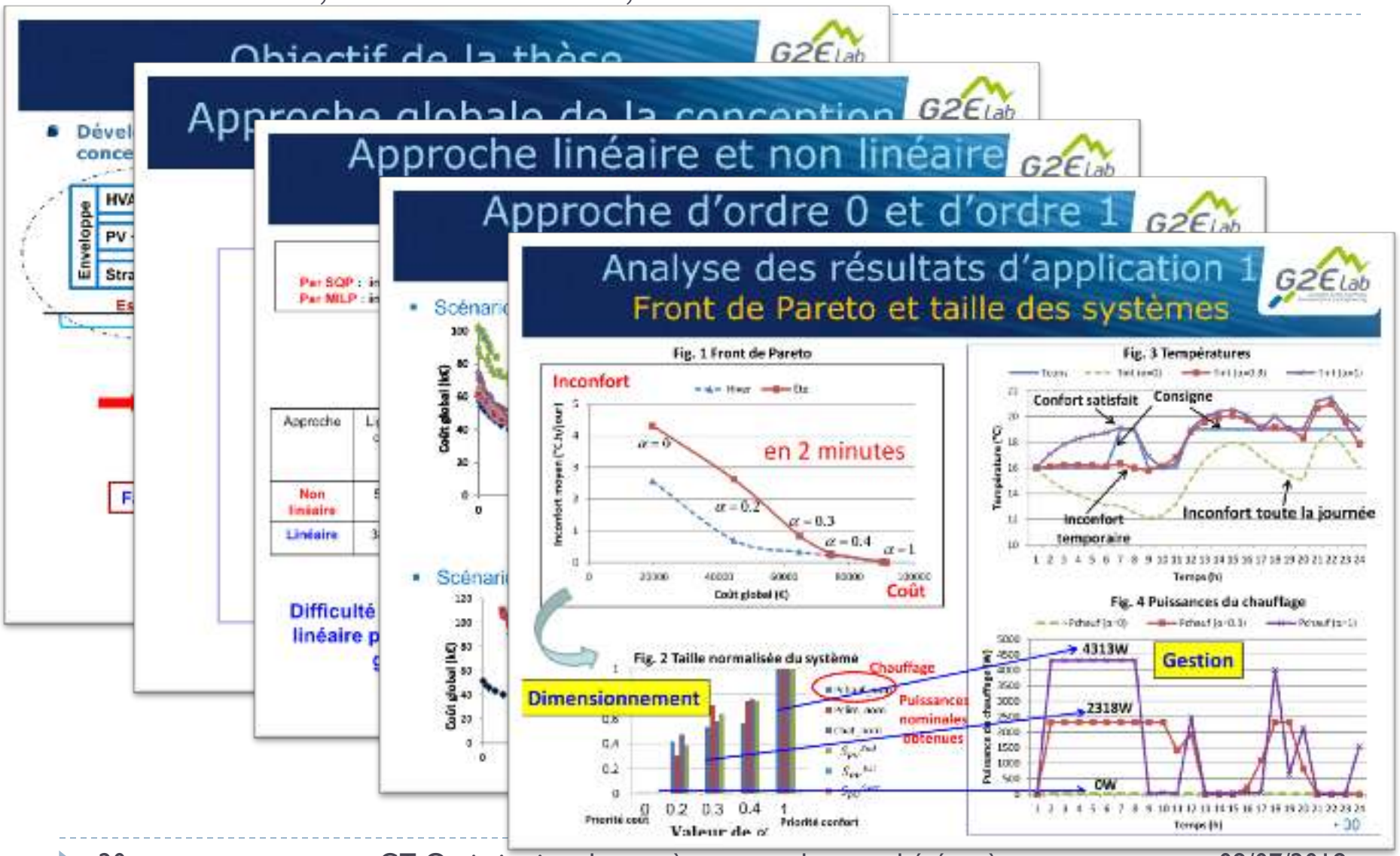
# Dimensionnement et gestion des bâtiments et des systèmes énergétiques

**Van Binh Dinh**, Benoit Delinchant, Frédéric Wurtz



# Dimensionnement et gestion des bâtiments et des systèmes énergétiques

**Van Binh Dinh**, Benoit Delinchant, Frédéric Wurtz



# Approches multi-échelles multi-niveaux

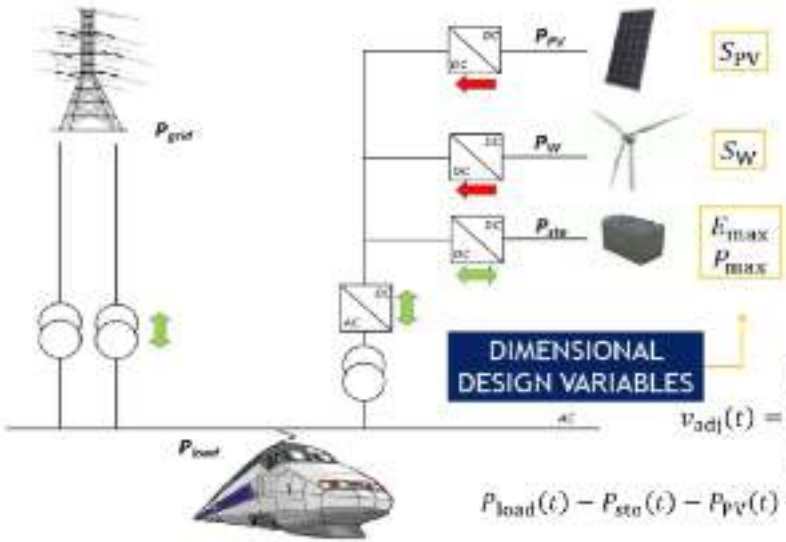
**Illustration par l'exemple**

# Optimisation collaborative et par décomposition d'une sous-station ferroviaire hybride

**Stéphane BRISSET** et Maxime OGIER

## Modèle de la sous-station ferroviaire hybride

4




$S_{PV}$

$S_W$

$E_{max}$
$P_{max}$

DIMENSIONAL DESIGN VARIABLES

$$P_{PV}(t) = S_{PV}\, P_{irr}(t) \quad \forall t \in [0, T]$$

$$P_W(t) = k_p\, S_W\, v_{adj}^3(t)$$

$$0 \le E_{sto}(t) \le E_{max}$$

$$-P_{max} \le P_{sto}(t) \le P_{max}$$

$$E_{sto}(T) = E_{ini}$$

$$v_{adj}(t) = \begin{cases} v_W(t) & 0 \le v_W(t) < v_{rated} \\ v_{rated} & v_{rated} \le v_W(t) \le v_{off} \\ 0 & v_{off} < v_W(t) \end{cases}$$

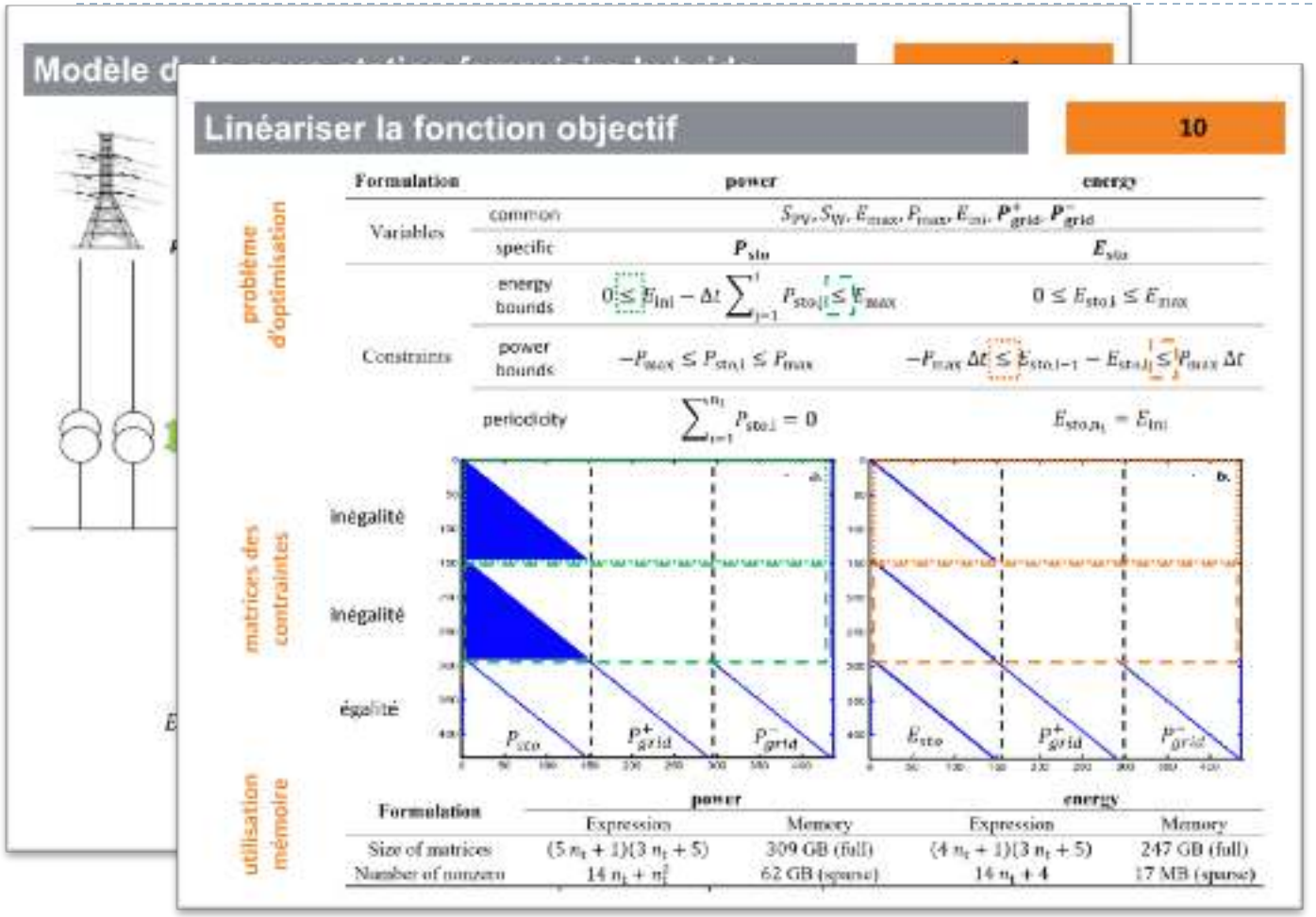
$$P_{load}(t) - P_{sto}(t) - P_{PV}(t) - P_W(t) - P_{grid}(t) = 0$$

$$E_{sto}(t) = E_{ini} - \int_{\tau=0}^{t} P_{sto}(\tau)\, d\tau \quad \Longleftrightarrow \quad P_{sto}(t) = -\, dE_{sto}(t)/dt$$

GdR SEEDS – GT optimisation des systèmes complexes – 12 février 2018

# Optimisation collaborative et par décomposition d'une sous-station ferroviaire hybride

**Stéphane BRISSET** et Maxime OGIER



## Linéariser la fonction objectif

10

| | Formulation | | power | energy |
|---|---|---|---|---|
| problème d'optimisation | Variables | common | $S_{PV}, S_W, E_{max}, P_{max}, E_{ini}, P^+_{grid}, P^-_{grid}$ | |
| | | specific | $P_{sto}$ | $E_{sto}$ |
| | Constraints | energy bounds | $0 \leq E_{ini} - \Delta t \sum_{j=1}^{i} P_{sto,j} \leq E_{max}$ | $0 \leq E_{sto,i} \leq E_{max}$ |
| | | power bounds | $-P_{max} \leq P_{sto,i} \leq P_{max}$ | $-P_{max}\Delta t \leq E_{sto,i-1} - E_{sto,i} \leq P_{max}\Delta t$ |
| | | periodicity | $\sum_{i=1}^{n_t} P_{sto,i} = 0$ | $E_{sto,n_t} = E_{ini}$ |

matrices des contraintes

inégalité

inégalité

égalité

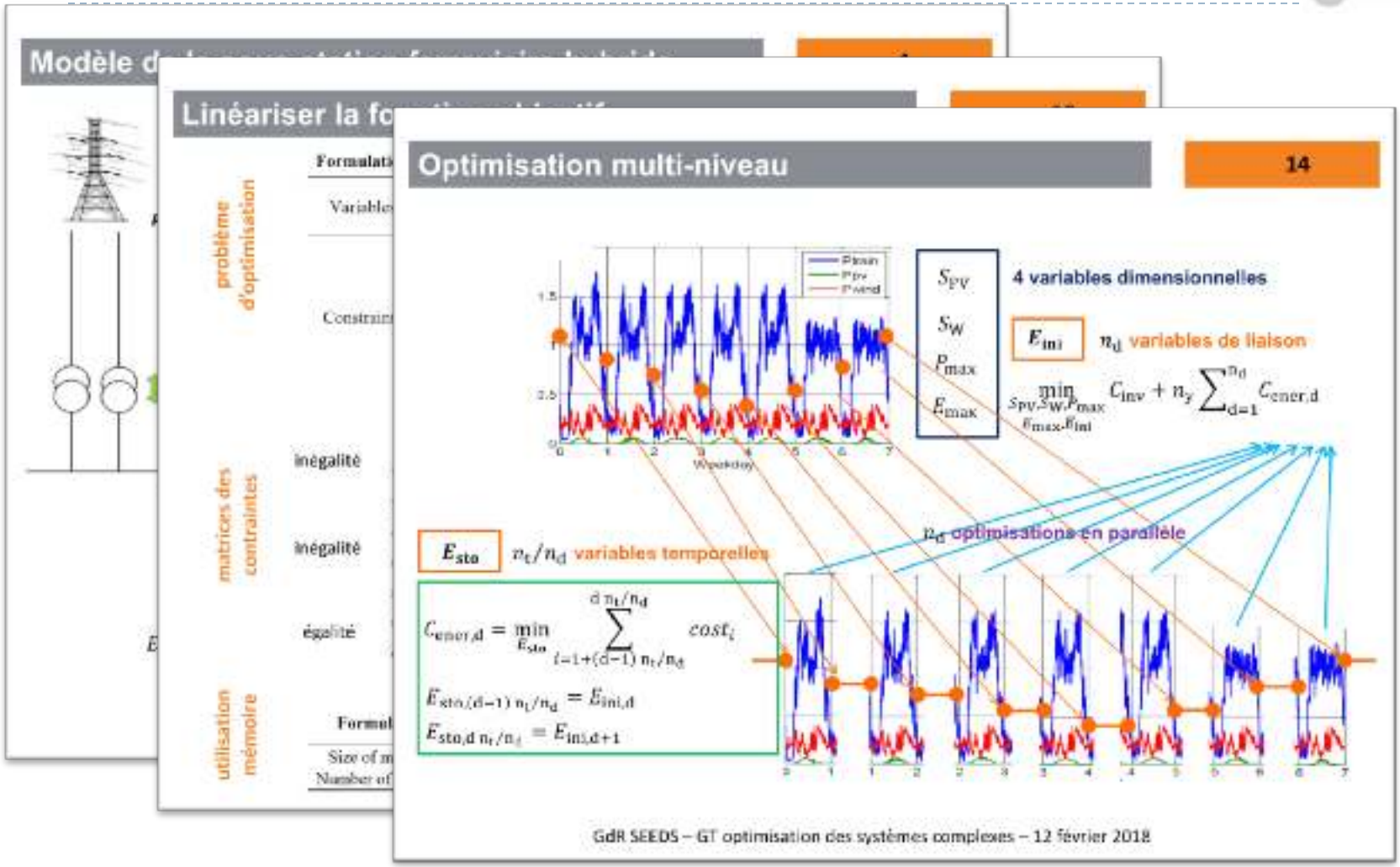
$P_{sto}$ $P^+_{grid}$ $P^-_{grid}$ $E_{sto}$ $P^+_{grid}$ $P^-_{grid}$

utilisation mémoire

| Formulation | power | | energy | |
|---|---|---|---|---|
| | Expression | Memory | Expression | Memory |
| Size of matrices | $(5\,n_t + 1)(3\,n_t + 5)$ | 309 GB (full) | $(4\,n_t + 1)(3\,n_t + 5)$ | 247 GB (full) |
| Number of nonzero | $14\,n_t + n_t^2$ | 62 GB (sparse) | $14\,n_t + 4$ | 17 MB (sparse) |

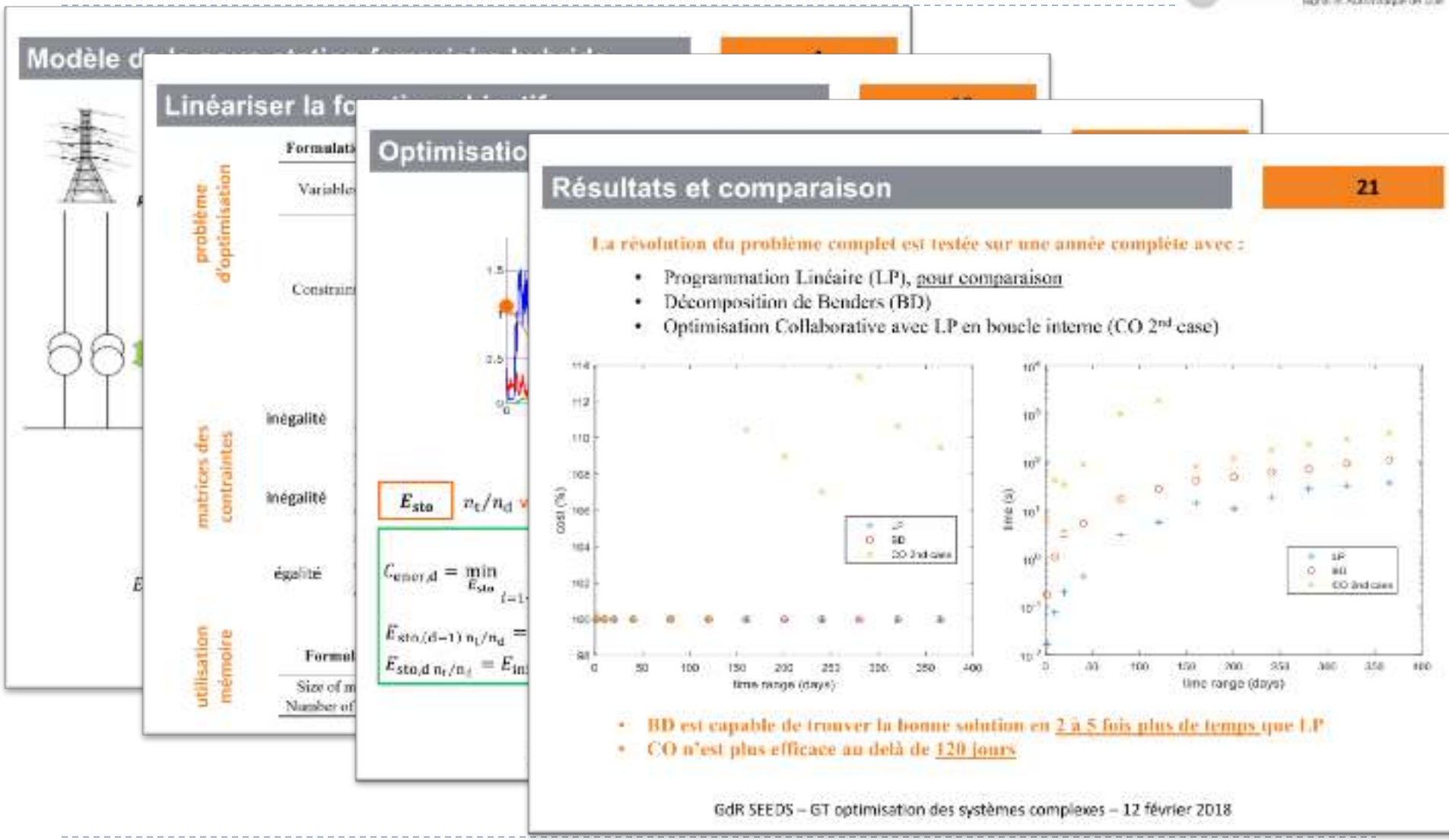
# Optimisation collaborative et par décomposition d'une sous-station ferroviaire hybride

**Stéphane BRISSET** et Maxime OGIER



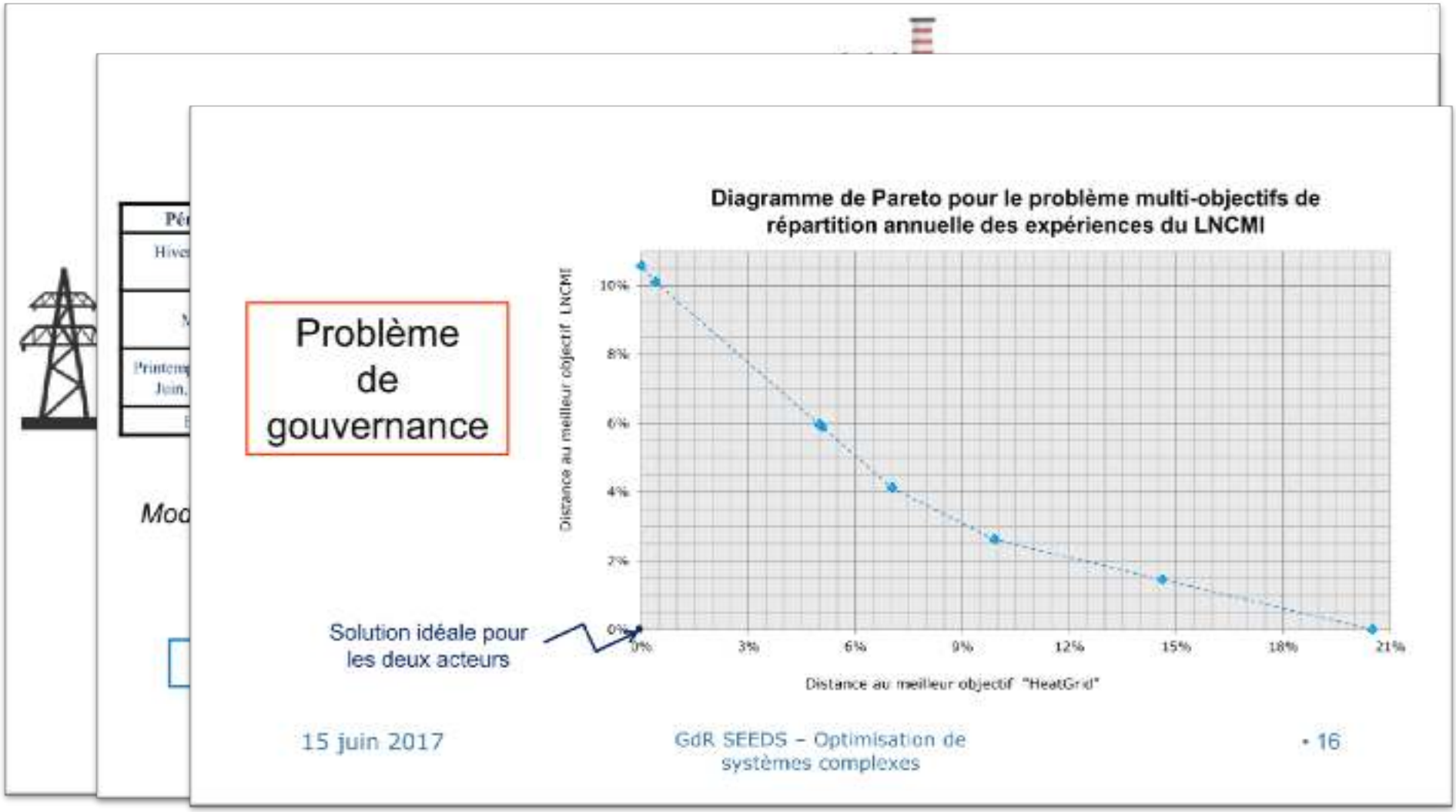
# Optimisation collaborative et par décomposition d'une sous-station ferroviaire hybride

**Stéphane BRISSET** et Maxime OGIER



# Valorisation optimale de chaleur fatale d'un site à forte consommation électrique

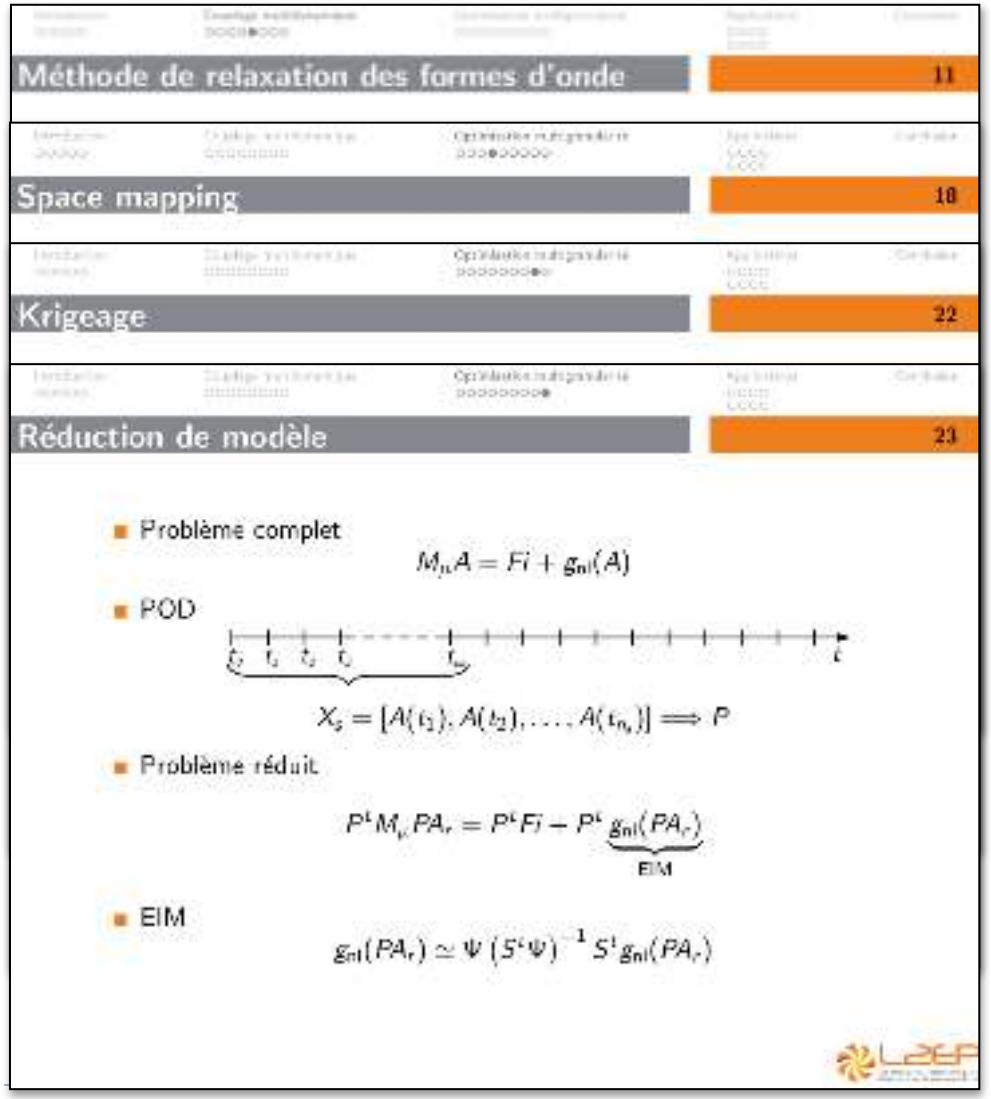
**Camille Pajot**, Benoit Delinchant, Yves Marechal, Frédéric Wurtz



# Modélisation multi-dynamique et optimisation multigranularité de systèmes électriques

**Antoine Pierquin**, S. Brisset, T. Henneron, S. Clénet

- Co-Simulation :
  - **WRM** : méthode de couplage
- Optimisation multigranularité :
  - **Space mapping** : deux modèles
  - **Krigeage** : estimation de l'erreur
  - **Modèle réduit :** POD
- Maitriser les méthodes
  - pour les appliquer de manière efficace
  - Pour les faire évoluer et rendre plus performantes pour nos problèmes



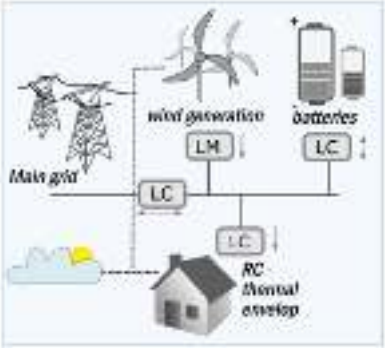
# Tutoriaux

**Illustration par l'exemple**

# A Library for Linear Modelling of Energy Systems
https://reinboldv.github.io/llmse - Vincent Reinbold

## A Practical Implementation

1. Instantiation of the Model
2. Aggregation of variables, constraints and objectives
3. Multi-physic connections between units
4. Optimization




### Smart-Grid Example (24h)

- 19 lines of code ($\approx 1000$ in total) $= 4\,000$ lines in LP language
- 1 400 variables, 2 400 constraints
- Optimization time $< 1\ s$
  (i7-6600U, 2.60GHz, 8GB / Python 2.7 / Gurobi 6.5)

Vincent reinbold 12 / 13

# A Library for Linear Modelling of Energy Systems
https://reinboldv.github.io/llmse - Vincent Reinbold

## A Practical Implementation

1. Instantiation of th
2. Aggregation of va
   and objectives
3. Multi-physic conn
4. Optimization

**Smart-Grid Example (2**

- 19 lines of code (
- 1 400 variables,
- Optimization time
  (i7-6600U, 2.60GH

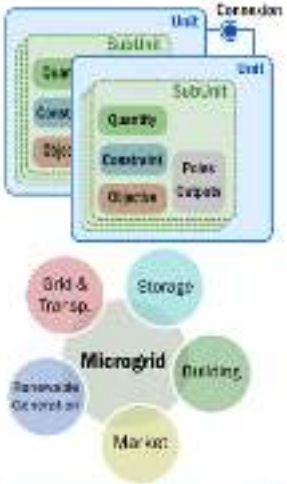
Vincent reinbold

## Conclusion - A General Tool for Modeling Optimization Problems

1. **Oriented Object Tool for Optimization**
2. **Application for District Energy System**

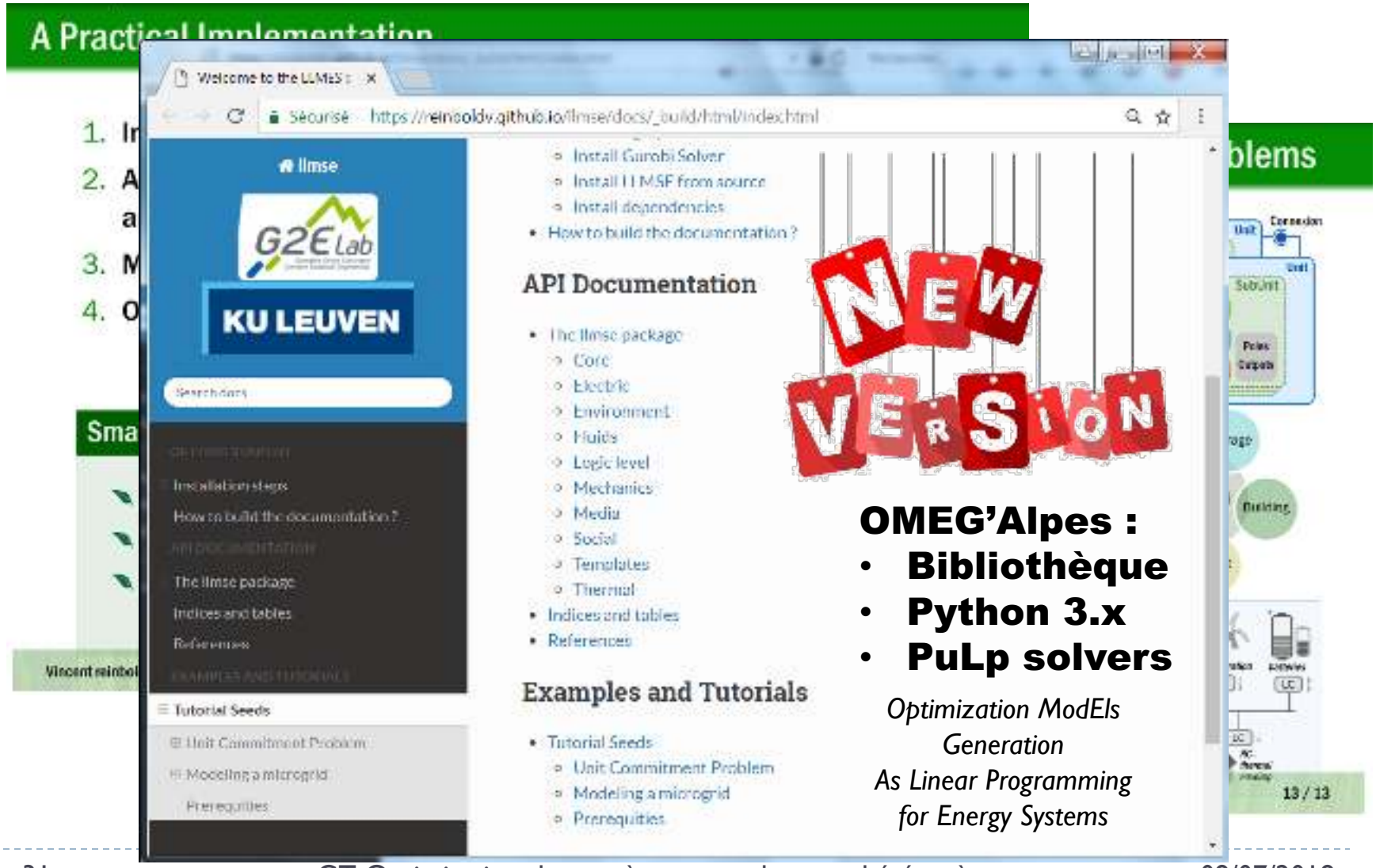
**Perspectives**

- **Develop/Feed** Models and Examples for the Library,
- Building a **community**
- Real **Implementation** & Measurements



Vincent reinbold 13 / 13

# A Library for Linear Modelling of Energy Systems
https://reinboldv.github.io/llmse - Vincent Reinbold



# Questions et discussions

**GT Optimisation des systèmes complexes et hétérogènes**

**Conclusions :** aperçu de notre GT
détails, voir présentations
rejoignez nous !

E-mails : salvy.bourguet@univ-nantes.fr
benoit.delinchant@G2Elab.grenoble-inp.fr

# SESSION PLÉNIÈRE

- GT Stockage électrochimique de l'énergie électrique

  **Serge PELISSIER**, IFSTTAR

  **Christophe FORGEZ**, ROBERVAL-UTC

# Séminaire du GT SEEDS Micro-réseaux

# UTC 9 juillet 2018

# Quelles problématiques « stockage » dans les micro-réseaux ?

**Serge Pélissier (IFSTTAR) et Christophe Forgez (UTC)**

**GT SEEDS Stockage Electrochimique**

serge.pelissier@ifsttar.fr

christophe.forgez@utc.fr

# Les laboratoires SEEDS du GT stockage

# Le stockage : des composants, des applications et des questions

## GT stockage

Technologie ?
Dimensionnement ?
Loi de gestion ?

Modèle équivalent ?
Modèle de vieillissement ?

**Quels profils d'usage?**

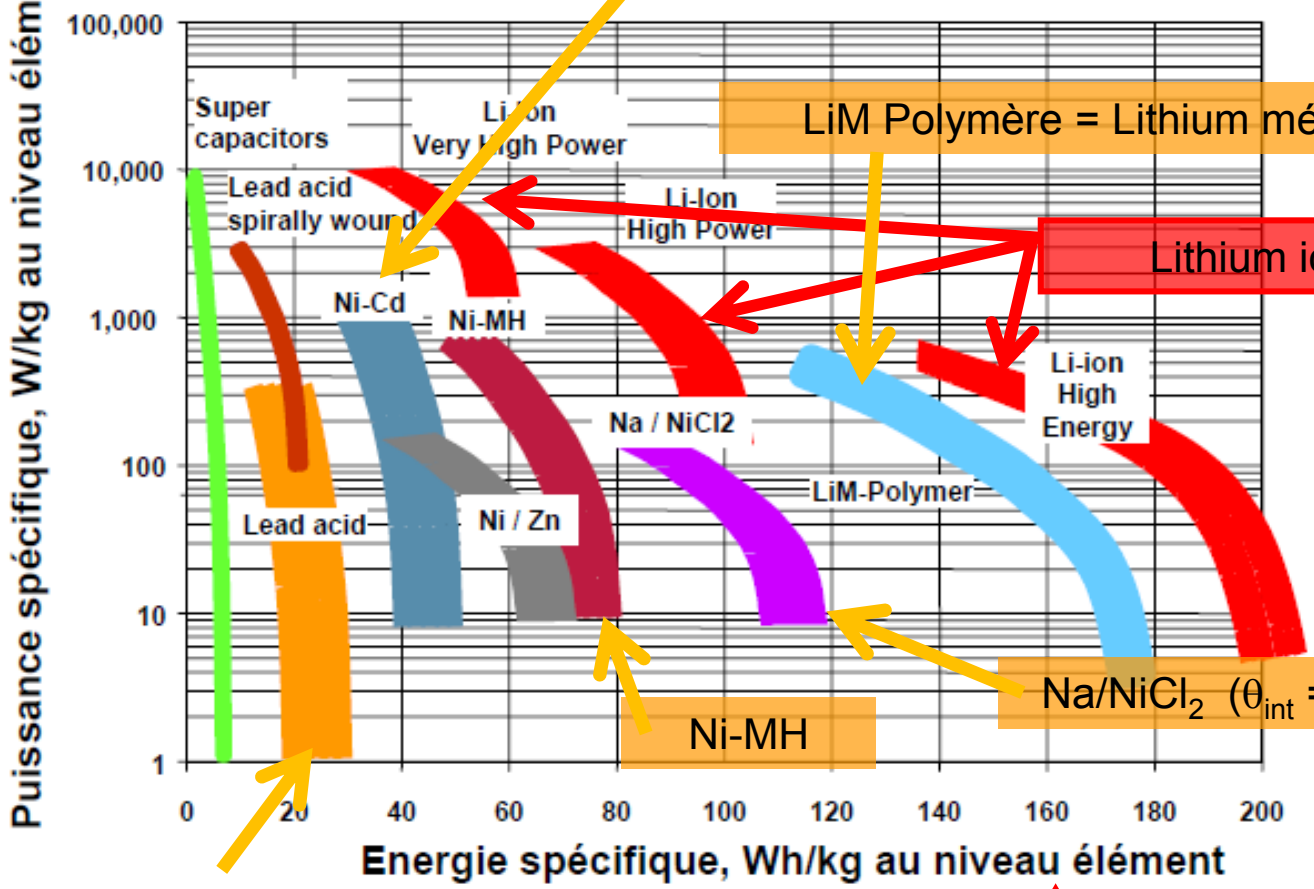
- Systèmes embarqués
- Micro-réseaux
- Réseaux de puissance
- ….

## GT micro-réseaux

# Les performances du stockage électrochimique : le tableau de Ragone

## Comparaison des accumulateurs : puissance vs énergie

Ni/Cd « interdit » sauf application Sécurité/Alarme/Industrielle (toxicité du Cadmium)




LiM Polymère = Lithium métal ($\theta_{int}$ = 80°C)

Lithium ion

Na/$NiCl_2$ ($\theta_{int}$ = 300°C)

Ni-MH

Plomb : puissance en charge << puissance en décharge

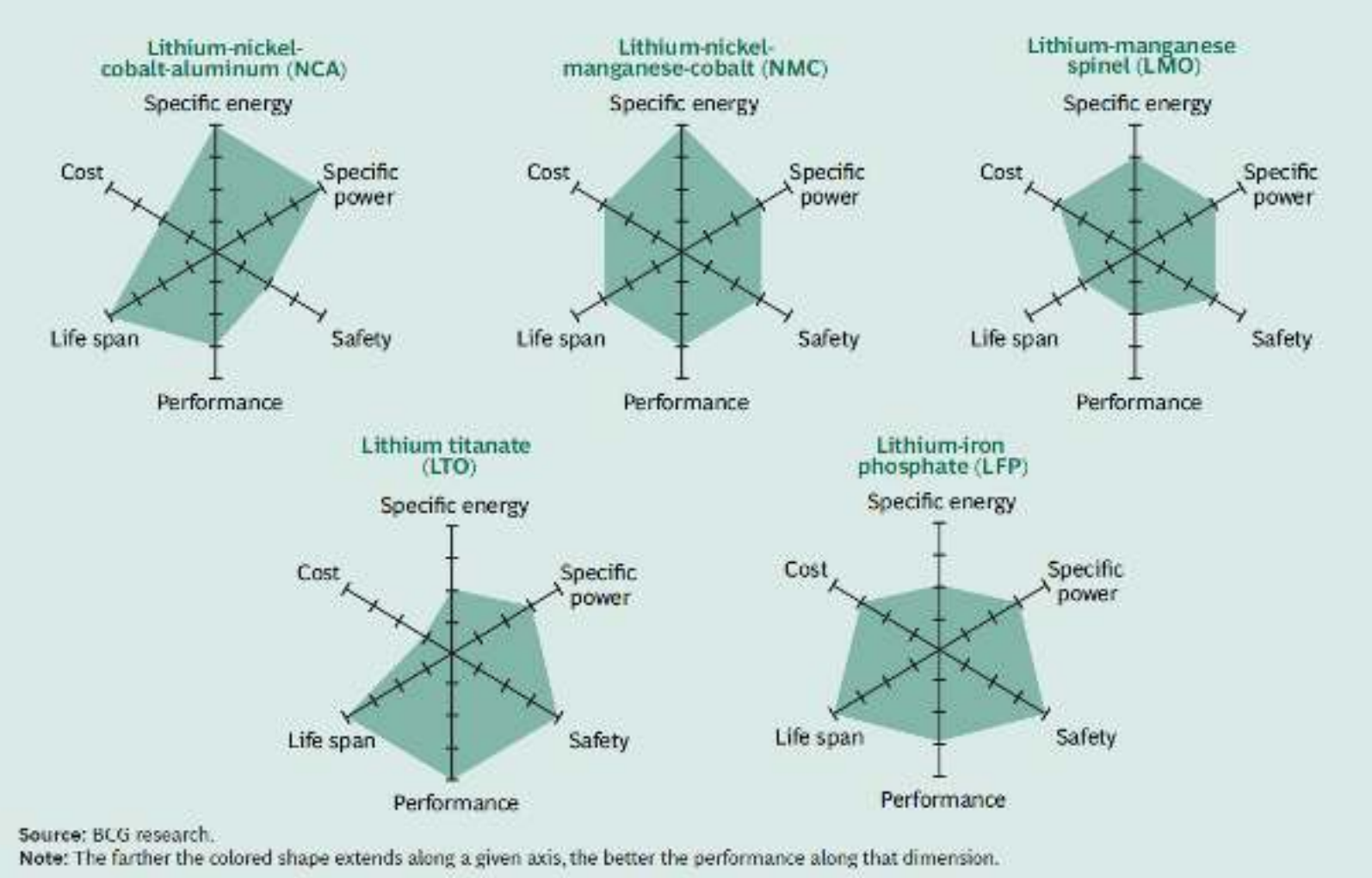
**Attention : valeurs massiques niveau élément ≠ avec électronique et ventilation**

# Les familles de batteries Lithium-ion

| *Nom* | *Description* | *Electrode positive / négative* |
|---|---|---|
| **LCO** | Lithium Cobalt Oxide | $Li\ Co\ O_2$ / Graphite |
| **NCA** | Lithium Nickel Cobalt Aluminium | $Li\ (Ni_{0.85}\ Co_{0.1}\ Al_{0.05})\ O_2$ / Graphite |
| **LFP - G** | Lithium Iron Phosphate | $Li\ Fe\ PO_4$ / Graphite |
| **NMC** | Lithium Nickel Cobalt Manganese | $Li\ (Ni_{1/3}\ Co_{1/3}\ Mn_{1/3})\ O_2$ / Graphite |
| **LMS** | Lithium Manganese Spinel | $Li\ Mn\ O_2$ or $Li\ Mn_2\ O_4$ / $Li_4\ Ti_5\ O_{12}$ |
| **LTO** | Lithium Titanium | $Li\ Mn\ O_2$ / $Li\ Ti\ O_2$ |
| **MNS** | Manganese Titanium | $Li\ Mn_{1.5}\ Ni_{0.5}\ O_4$ / $Li_4\ Ti_5\ O_{12}$ |
| …/… | | |

*Source : Institute of Transportation Studies University of California Davis, CA – rapport UCD-ITS-RR-08-14 , may 2008*

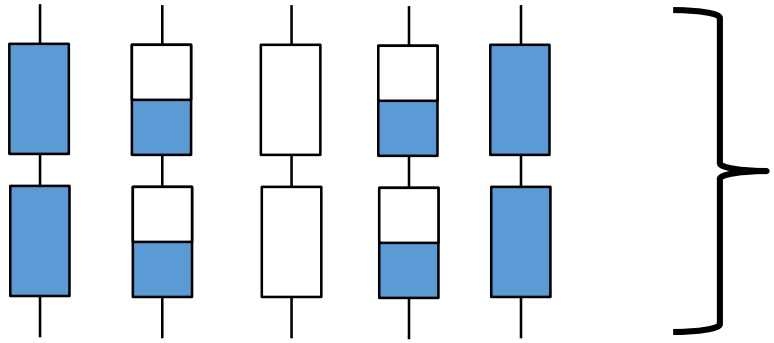
# Les performances des familles de batteries Lithium-ion




Note : Performance = puissance à faible température + mesure du SOC + gestion thermique

*Source : Batteries for electrics cars, Boston Consulting Group - 2010*

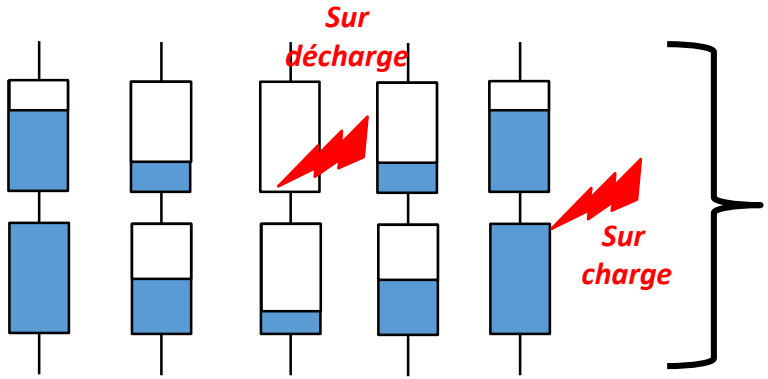
# La fragilité des batteries Lithium : le besoin de surveillance



Décharge Charge

**Cas d'éléments équilibrés**

- ❑ **100% de la capacité disponible**
- ❑ **Limites de tension respectées**
- ❑ **Limites de courant respectées**



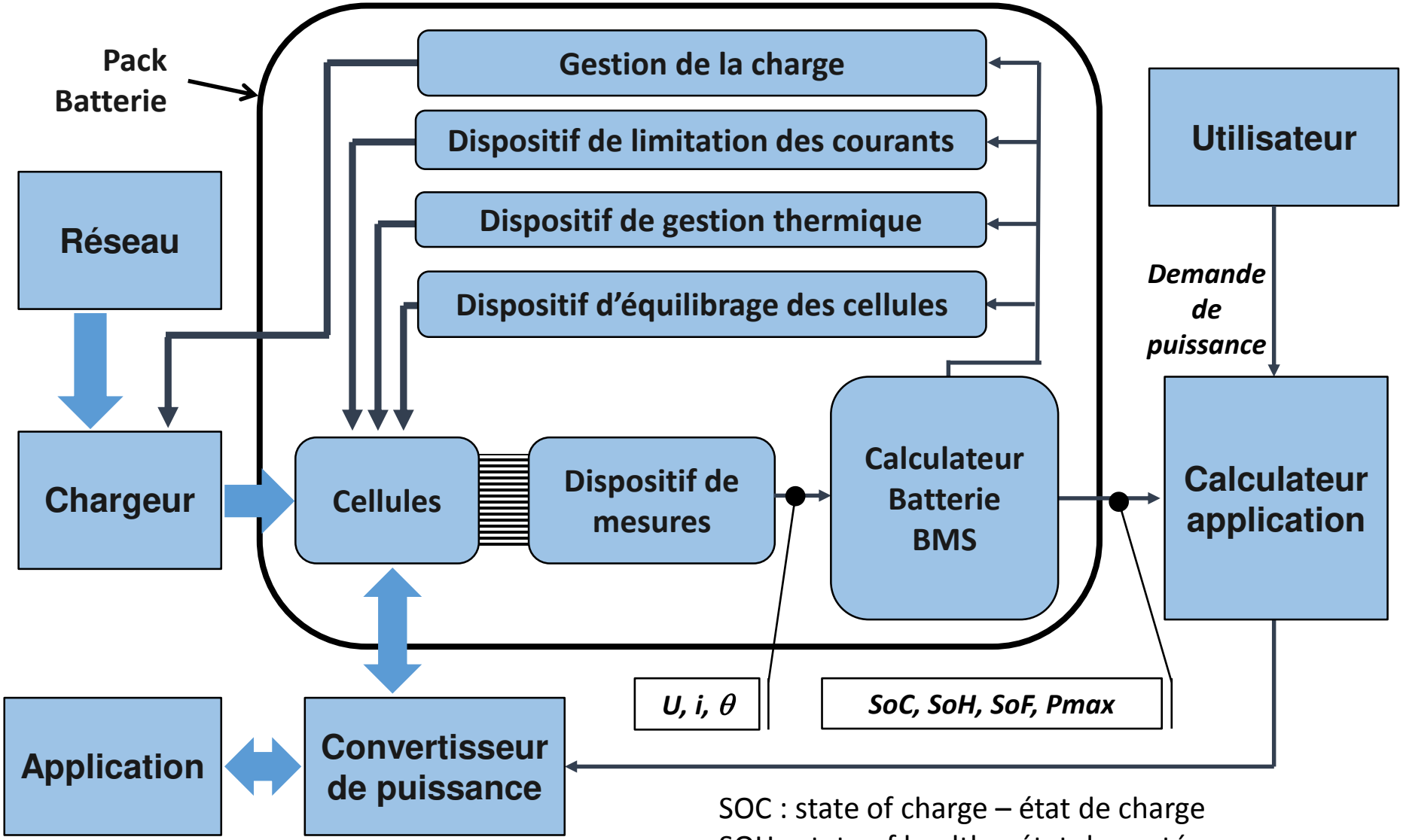

**Cas d'éléments non équilibrés**

- ❑ **100% de la capacité <u>non disponible</u>**
- ❑ **Limites de tension <u>non respectées</u>**
- ❑ **Limites de courant respectées**

⇨ **Besoin d'équilibrage pour respecter les limites de tension en utilisation**

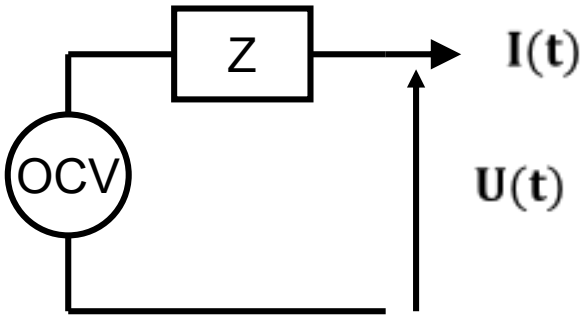
⇨ **Besoin de surveiller et maitriser la tension de chaque cellule de la batterie**

# Schéma de principe d'un « Battery Management System » (BMS)




SOC : state of charge – état de charge
SOH : state of health – état de santé
SOF : state of function – état de fonctionnement

# Modélisation par circuit électrique équivalent




$$Q(t) = \int I(t)dt$$

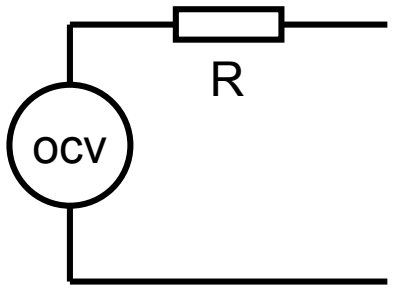
$$SOC(t) = SOCini + \frac{Q(t)}{Capa}100$$

$$\mathrm{U}(t) = OCV(SOC, Tbat) - Z(SOC, T_{bat}, I)I(t)$$

# Modélisation d'une batterie : quel modèle ?

Modèle simple

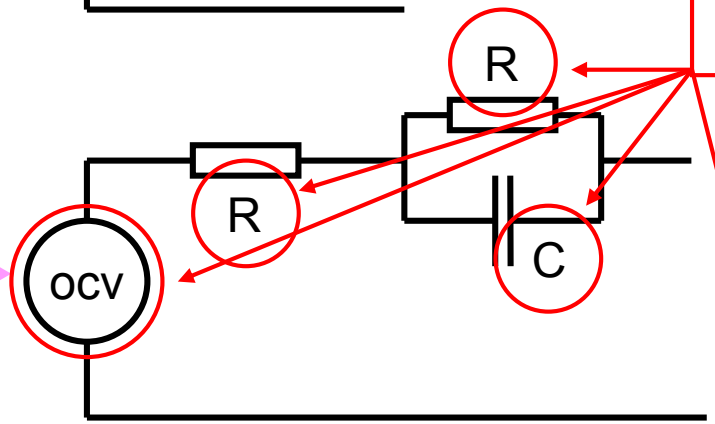
(Energie)




Chaque paramètres peut dépendre :
- du SOC
- de la température θ
- du courant I
- du SOH

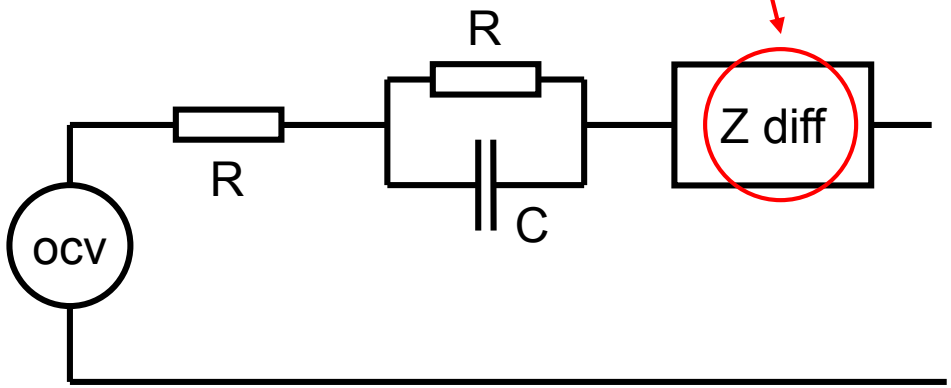
Modèle moyen

(Energie et dynamique rapide)




Modèle complet

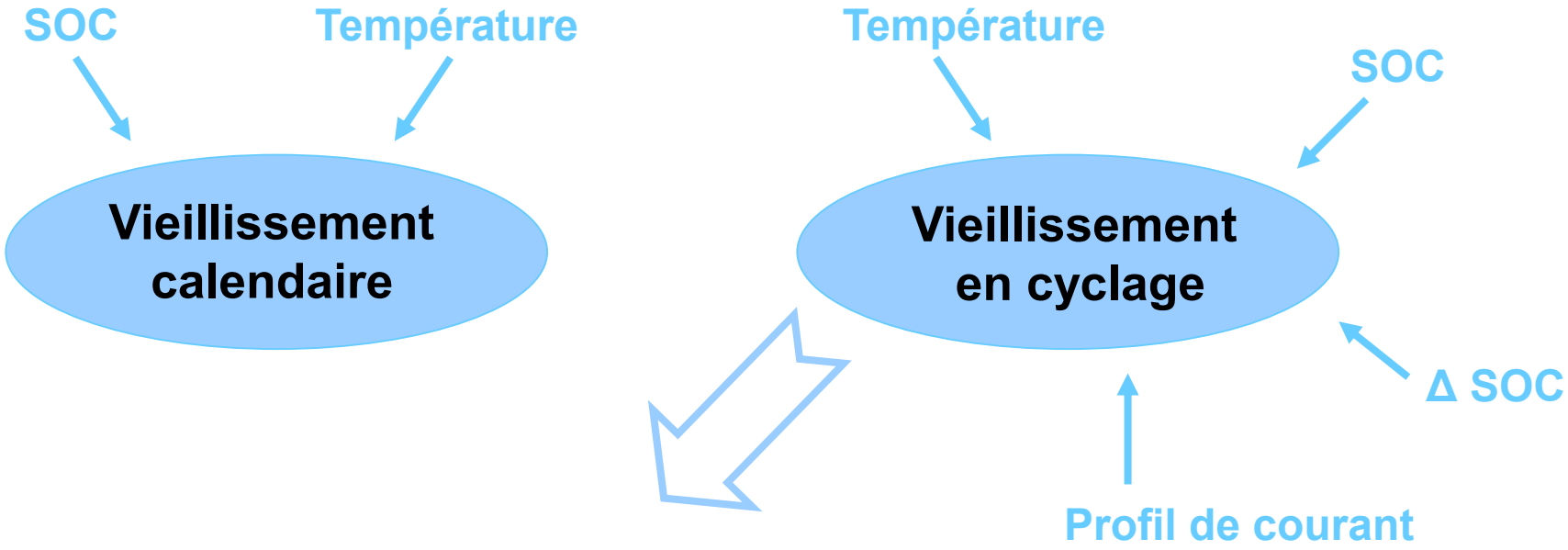
(Energie et dynamiques rapide et lente)



# Le vieillissement des batteries Lithium

Vieillissement = perte de performances irréversible

Vieillissement ≠ auto décharge




**Le vieillissement en cyclage est très dépendant de l'application (automobile, stationnaire, …)**

**Effet du vieillissement : perte de capacité et/ou augmentation d'impédance**

**⇨ Perte d'automonie et/ou perte de puissance**

# Les problématiques du vieillissement des batteries Lithium

## Le vieillissement dépend du profil d'usage

- **Température**
- **Niveaux de charge**
- **Formes des courants**
- **Alternances cyclage/repos**

## Le vieillissement : des phénomènes complexes

- **Effets non linéaires de la température, du SOC,…**
- **Lois de cumul non additives des vieillissements calendaire et en cyclage**
- **Vieillissement variable selon les technologies (de lithium-ion)**

## Lois de gestion « fluctuantes »

**Exemple : recharge d'un véhicule entre 2 missions quotidiennes**

- **En été : intérêt à recharger le plus tard possible pour éviter le stockage à fort SOC et « forte » température toute la nuit *(effet calendaire)***
- **En hiver : intérêt à recharger le plus tôt possible (quand la batterie est encore chaude) pour éviter de recharger à basse température tôt le matin *(effet cyclage)***

# Les nouveaux usages des batteries

## Les lois de vieillissement ne sont pas transposables d'un usage à un autre

**Nécessité de connaitre les profils d'usage et d'enregistrer le suivi de batteries**

- **Pour construire des essais/des simulations de vieillissement représentatifs**
- **Pour adapter les lois de gestion à des scénarios représentatifs**

## Les problématiques de la seconde vie de batteries de traction

***Les batteries de VE ont une durée de vie limitée <u>par la perte de capacité</u>***

- **Prolonger les lois de vieillissement au-delà des durées de vie attendues pour les transports (20% de pertes de la capacité)**
- **Connaitre les nouveaux usages en seconde vie**
- **Identifier les profils de puissances et de courants**
  - **les batteries (vieillies) répondent-elles aux cahiers des charges ?**
  - **les contraintes font-elles apparaitre de nouveaux modes de vieillissement ?**
- **Réaliser des essais de vieillissement spécifiques**
- **Déterminer les lois de vieillissement pour ces nouveaux usages**

# Les collaborations possibles entre GT stockage et micro-réseaux

- **Caractérisation des usages des batteries dans applications micro-réseaux**
- **Etude du vieillissement en condition d'usage représentatif**

  **Batteries neuves (lithium ou non)**

  **Batteries « seconde vie »**

- **Autres propositions ?**

# PROGRAMME

*12h00 : Déjeuner*

*Visite de la plateforme STELLA*

# PROGRAMME

*9h00 : Accueil, café et visite de la plateforme STELLA*

**Session plénière** (amphithéâtre Centre d'Innovation)

**10h00 :** Ouverture de la journée

**10h10 : T. DHAINAUT**, ENEDIS Picardie Directeur adjoint ingénierie

**11h00 : B. DELINCHANT** (G2Elab) et **S. BOURGUET** (IREENA)

**11h30 : S. PELISSIER** (IFSTTAR) et **C. FORGEZ** (ROBERVAL-UTC)

***12h00 : Déjeuner (buffet convivial) et visite de la plateforme STELLA***

**Sessions parallèles** (salles Centre d'Innovation)

**13h30 :** Session 1, chairman **R. ROCHE**, 6 présentations orales

**13h20 :** Session 2, chairman **F. OSSART**, 7 présentations orales

***15h30 : Pause-café et visite de la plateforme STELLA***

**Session plénière** (amphithéâtre Centre d'Innovation)

**16h00 :** Synthèse des travaux, chairmans **R. ROCHE** et **F. OSSART**

**16h20 :** Bilan du GT Micro-réseaux et nouvelle organisation, **M. SECHILARIU**

***17h00 : Fin de la journée***

# SESSION PARALLELE

- 13h30 : Session 1

  Chairman Robin ROCHE, FEMTO-ST FCLab

- 13h20 : Session 2

  Chairman Florence OSSART, GeePs, Sorbonne Université

# SESSION 1

## Chairman Robin ROCHE, FEMTO-ST FCLab

1. Impacts of SCs on battery lifetime in HESS on DC Microgrids in BiPV, M. Gaetani-Liseo C. Alonso, B. Jammes, LAAS-CNRS, Univ. Toulouse III
2. Battery voltage increase based on DC/DC converters in parallel association, JP. Sawicki, P. Petit, F. Maufay, M. Aillerie, LMOPS-EA 4423, Univ. de Lorraine et CentraleSupelec
3. Variable speed diesel -PV power generation for micro micro-grid applications, M.M.G. Lawan, J. Raharijaona, M.B. Camara, B. Dakyo, GREAH Univ. du Havre-Normandie
4. Impacts of demand side management strategies application on a marine energies based multi-source system, A. Roy, F. Auger, S. Bourguet, F. Dupriez-Robin, Quoc Tuan Tran, IREENA – Univ. de Nantes, CEA-Tech Pays de la Loire, INES CEA-LITEN/DTS/LSEI
5. Energy management system for a grid-connected wind farm and battery storage hybrid plant via MPC strategy, A. Aguilera-Gonzalez, R. Lopez-Rodriguez, I. Vechiu, ESTIA, Grenoble Institute of Technology
6. Energy management in a DC/DC resonant converters-based battery/supercapacitor hybrid system, M. Arazi, A. Payman, M. Camara, B. Dakyo, GREAH Université du Havre-Normandie

# SESSION 2

## Chairman Florence OSSART, GeePs, Sorbonne Université

1. Reliable reserve balancing in a DC microgrid system under uncertainties, C. Kiebler, I. Prodan, F. Petzke, S. Streif, F. Stoican, Technische Universitat Chemnitz Automatic Control and System Dynamics Lab, LCIS INP Univ. Grenoble Alpes, UPB Department of Automatic Control and Systems Engineering Bucharest Romania
2. Local self-protection function for power line communication node in DC micro grid, T. K. Tran, H. Yahoui, D. Genon-Catalot, N. Siauve, N. Fourty, T. H. T. Ma, AMPERE Université Lyon 1, LCIS Grenoble Institute of Technology, Valence
3. DC Microgrids, H. Morel, P. Bevilacqua, G. Clerc, R. Delpoux, E. Dumitrescu, J.-Y. Gauthier, X. Lin-Shi, E. Niel, L. Pietrac, J.-F. Trégouët, AMPERE Lyon
4. Optimal real time management of droop-controlled microgrids, M. Legry, F. Colas, J.Y. Dieulot, C. Saudemont, L2EP Lille, CRIStAL Lille
5. Robust energy management optimization of a smart microgrid in day ahead markets, R. Bourbon, B. Sareni, X. Roboam, S.U. Ngueveu, LAPLACE CNRS Univ. Toulouse
6. Flatness-based hierarchical control of a meshed DC microgrid, I. Zafeiratou, D. V. A. Nguyen, I. Prodan, L. Lefèvre, L. Piétrac, LCIS INP Univ. Grenoble Alpes, AMPERE CNRS INSA Université de Lyon
7. Social acceptability of microgrids dedicated to electric vehicle charging stations, M. Sechilariu, F. Locment, N. Darene, AVENUES EA 7284 et COSTECH EA 2223 UTC

# PROGRAMME

*15h30 : Pause-café*

*Visite de la plateforme STELLA*

# PROGRAMME

*9h00 : Accueil, café et visite de la plateforme STELLA*

**Session plénière** (amphithéâtre Centre d'Innovation)

**10h00 :** Ouverture de la journée

**10h10 : T. DHAINAUT**, ENEDIS Picardie Directeur adjoint ingénierie

**11h00 : B. DELINCHANT** (G2Elab) et **S. BOURGUET** (IREENA)

**11h30 : S. PELISSIER** (IFSTTAR) et **C. FORGEZ** (ROBERVAL-UTC)

*12h00 : Déjeuner (buffet convivial) et visite de la plateforme STELLA*

**Sessions parallèles** (salles Centre d'Innovation)

**13h30 :** Session 1, chairman **R. ROCHE**, 6 présentations orales

**13h20 :** Session 2, chairman **F. OSSART**, 7 présentations orales

***15h30 : Pause-café et visite de la plateforme STELLA***

**Session plénière** (amphithéâtre Centre d'Innovation)

**16h00 :** Synthèse des travaux, chairmans **R. ROCHE** et **F. OSSART**

**16h20 :** Bilan du GT Micro-réseaux et nouvelle organisation, **M. SECHILARIU**

***17h00 : Fin de la journée***

# SESSION PLÉNIÈRE

- Synthèse des travaux

  **Robin ROCHE**, FEMTO-ST FCLab

  **Florence OSSART**, GeePs, Sorbonne Université

# SESSION PLÉNIÈRE

- Bilan du GT Micro-réseaux et nouvelle organisation

  **Manuela SECHILARIU**, AVENUES, UTC

# *MERCI POUR VOTRE TRAVAIL, COLLABORATION ET PARTICIPATION*