



**HAL**  
open science

# Contrôle avancé au travers d'un middleware de coordination - application du contrôle prédictif au bâtiment intelligent

Clement Fauvel, Olivier Antoni, Suzanne Leseq

## ► To cite this version:

Clement Fauvel, Olivier Antoni, Suzanne Leseq. Contrôle avancé au travers d'un middleware de coordination - application du contrôle prédictif au bâtiment intelligent. 2018. cea-01935068

**HAL Id: cea-01935068**

**<https://cea.hal.science/cea-01935068>**

Preprint submitted on 26 Nov 2018

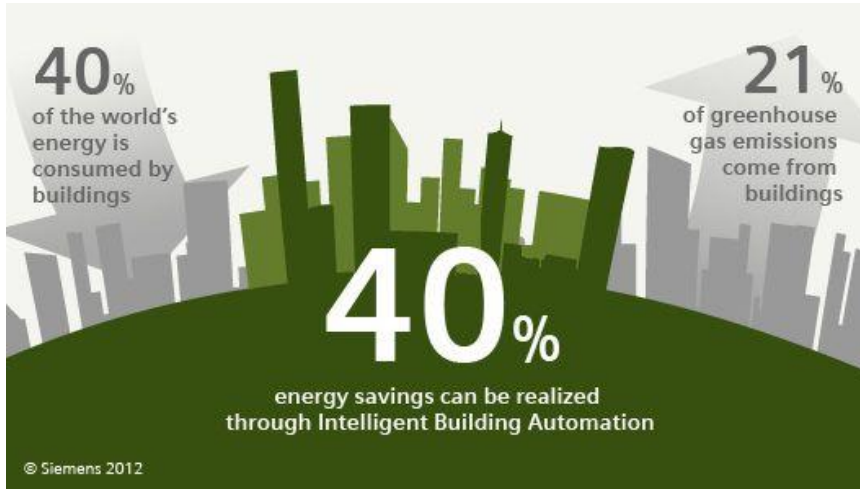
**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## CONTRÔLE AVANCÉ AU TRAVERS D'UN MIDDLEWARE DE COORDINATION – APPLICATION DU CONTRÔLE PRÉDICTIF AU BÂTIMENT INTELLIGENT

Workshop « Énergie et Numérique » | Fauvel Clément\*, Antoni Olivier, Leseq Suzanne | 15 novembre 2018



- **40%** de l'énergie mondiale est consommée par les bâtiments

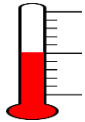
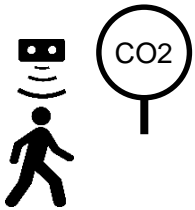
- **Concevoir** des bâtiments à faible impact environnemental
  - Architecture (BBC), matériaux, passivité

- **Amener de l'intelligence** dans le bâtiment
  - Outils d'audit : *détection de fautes, visualisation haut-niveau*
  - Gestion optimale des flux d'énergie : *consommation et production*
  - Optimisation du « confort » des occupants : *thermique, qualité de l'air*

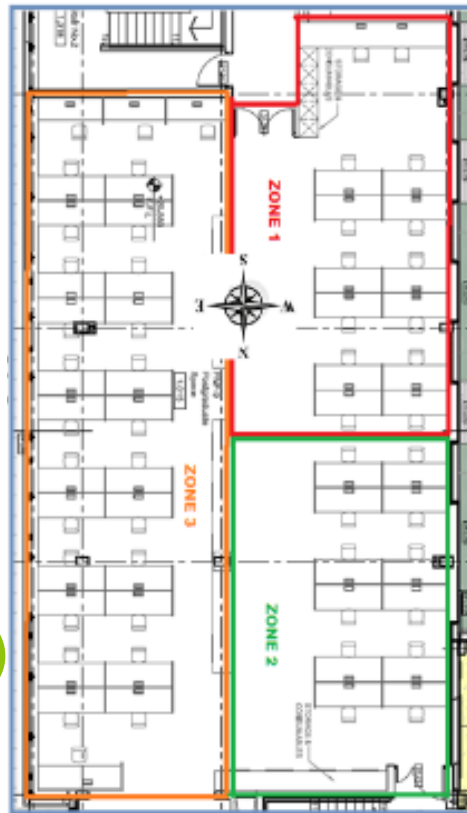
# IL ÉTAIT UNE FOIS...

## Dispositifs hétérogènes, distribués

- Capteurs
- actionneurs



- BMS, serveurs



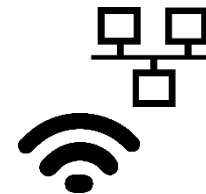
## Variables exogènes

- Climatique, humain, ...



## Canaux de communication

- Bacnet, LON, ...
- Wifi, ZigBee, ...



## Incertitudes

- Qualité des mesures, connaissances du bâtiment
- Fiabilité



- 1** Introduction, contexte et objectifs
- 2** Commande prédictive à base de modèle (MPC)
- 3** LINC, middleware de coordination
- 4** Application au bâtiment intelligent – mise en œuvre
- 5** Conclusion et discussions

## ■ Etat des lieux initial

- 1 contrôleur
- Ok en valeur moyenne
- Inconfort

## ■ Découpage en zone

- 1 contrôleur par zone
- 1 température de référence par zone
- Optimisation du confort personnalisé

## ■ Comment faire le découpage?

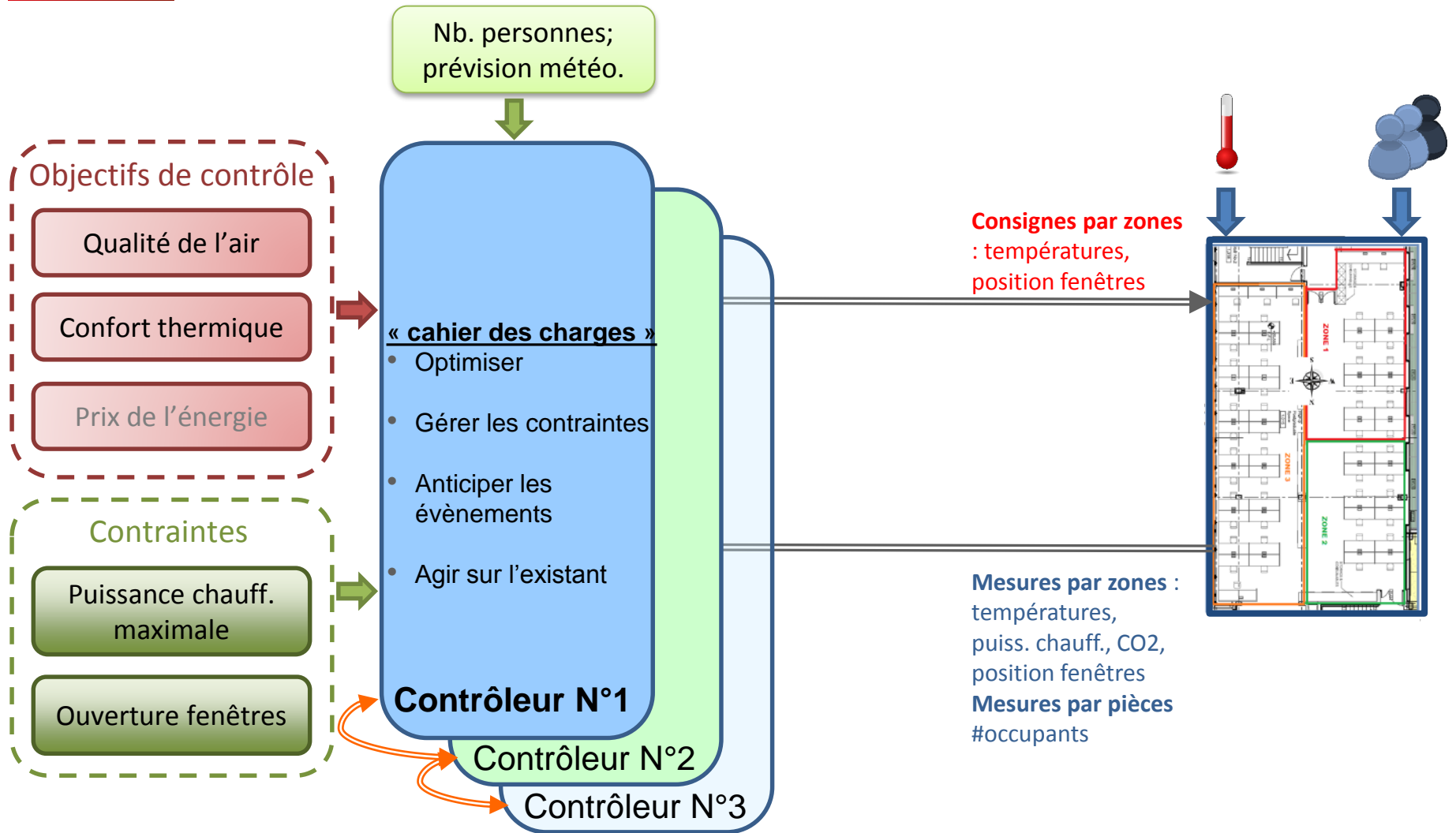
- Couplage
- Instrumentation
- Indépendance circuit de chauffage

**Consignes par zones**  
: températures,  
position fenêtres

**Mesures par zones :**  
températures,  
puiss. chauff., CO2,  
position fenêtres  
**Mesures par pièces**  
#occupants

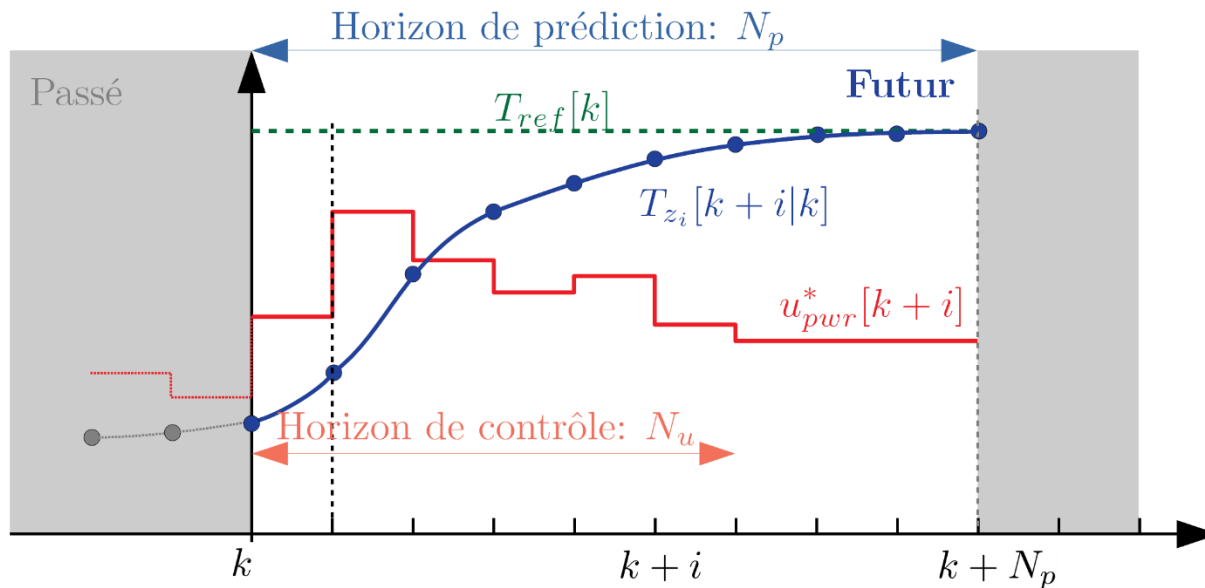


# ARCHITECTURE DE CONTRÔLE DISTRIBUÉ (THÉORIQUE)





# PHILOSOPHIE DE LA COMMANDE PRÉDICTIVE



$T_{ref}$  : référence

$T_{z_i}$  : sortie

$u_{pwr}$  : commande

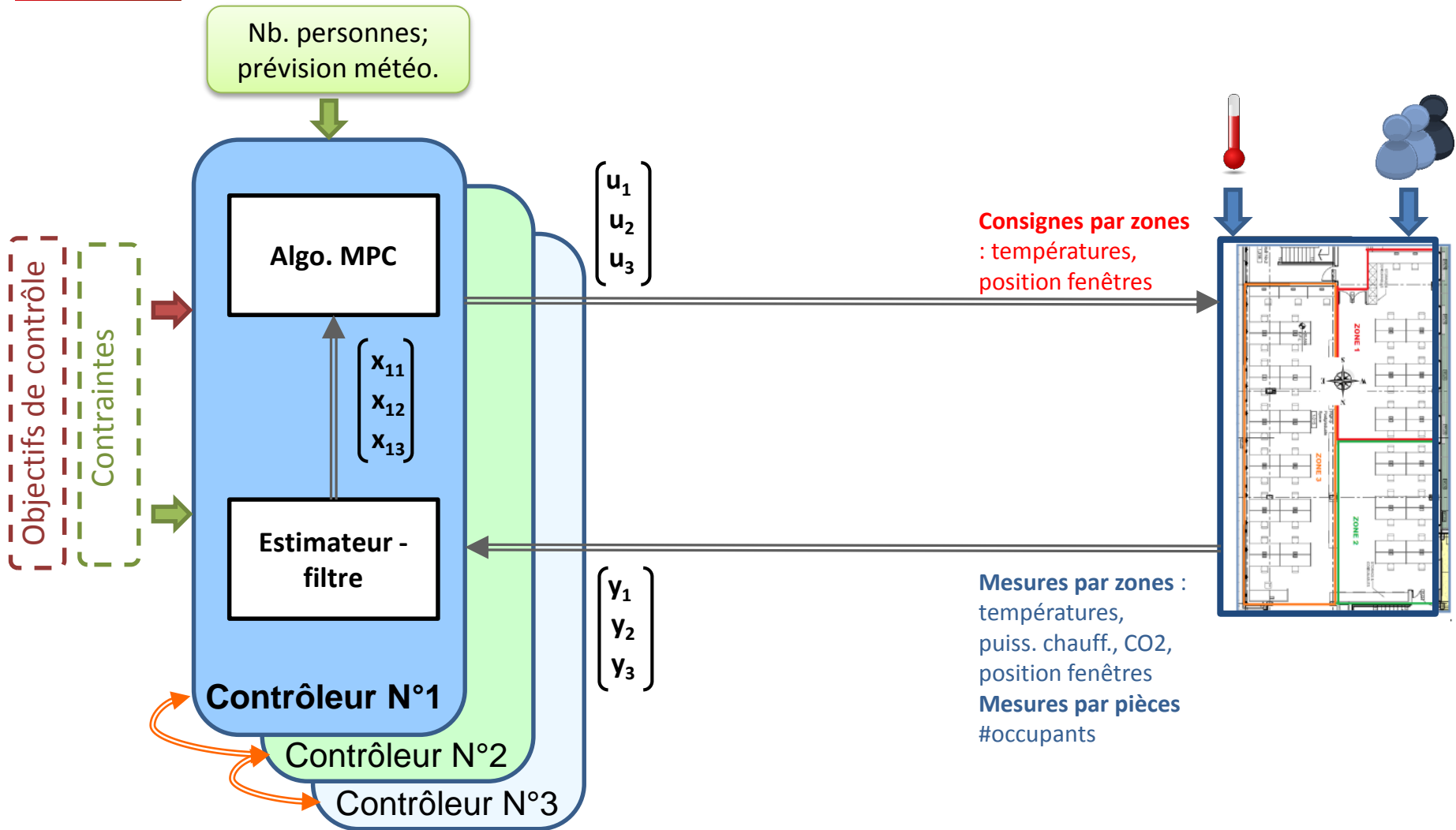
## ■ Commande prédictive (MPC)

- Commande à base de **modèle**
  - Modèle? Identification, mise à jour
- **Prédiction** de la sortie
  - Horizons ?
- Calcul d'une **séquence**  $u_{pwr}$  **optimale**
  - Problème d'optimisation
  - Algorithme / solveur ?
- **Horizon glissant**

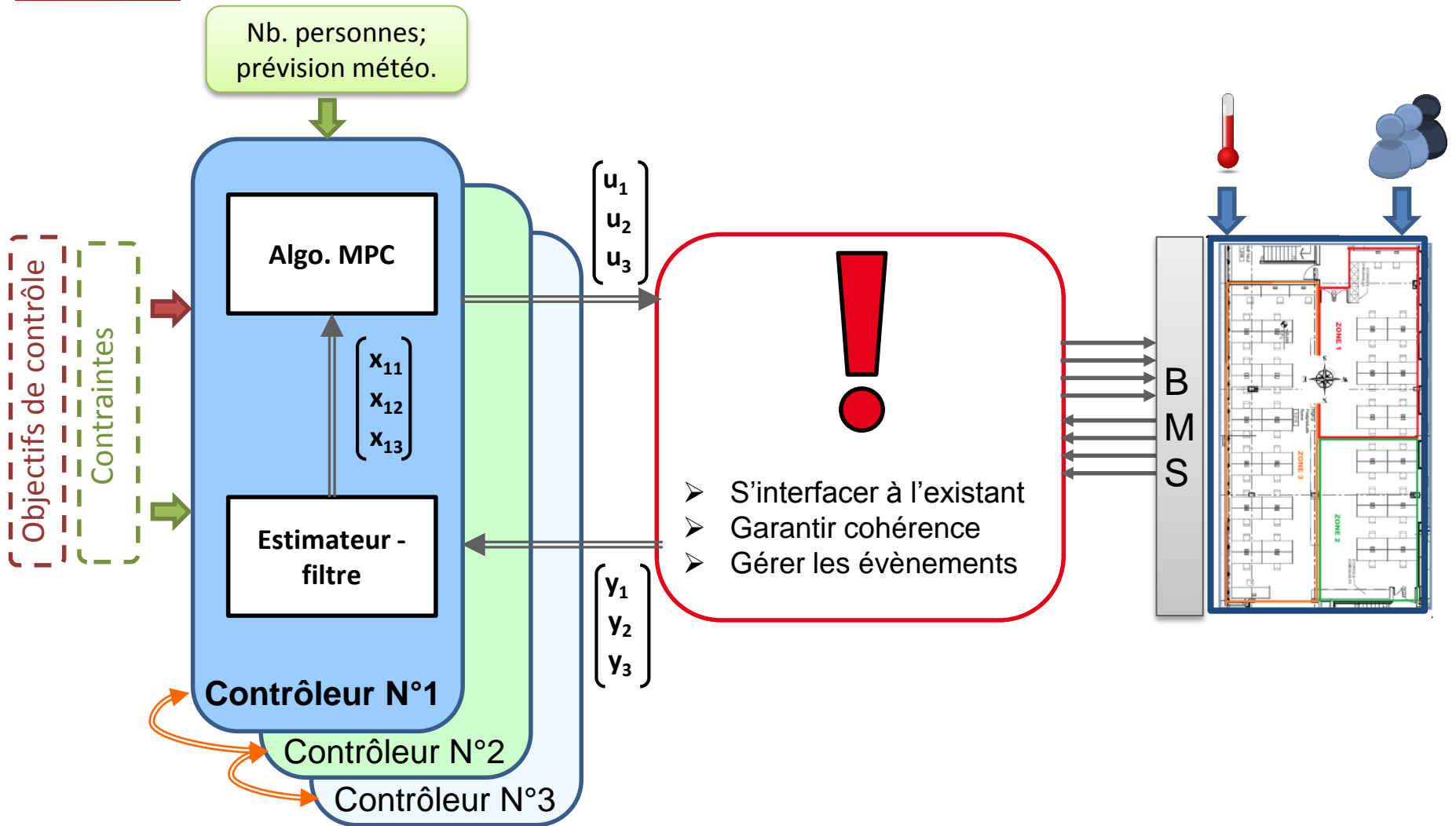
## ■ Pourquoi le MPC ?

- Manipule **plusieurs** entrées / sorties
- **Optimise** un compromis *économie vs confort*
- Gère les **contraintes**
  - Actionneurs, bornes confort

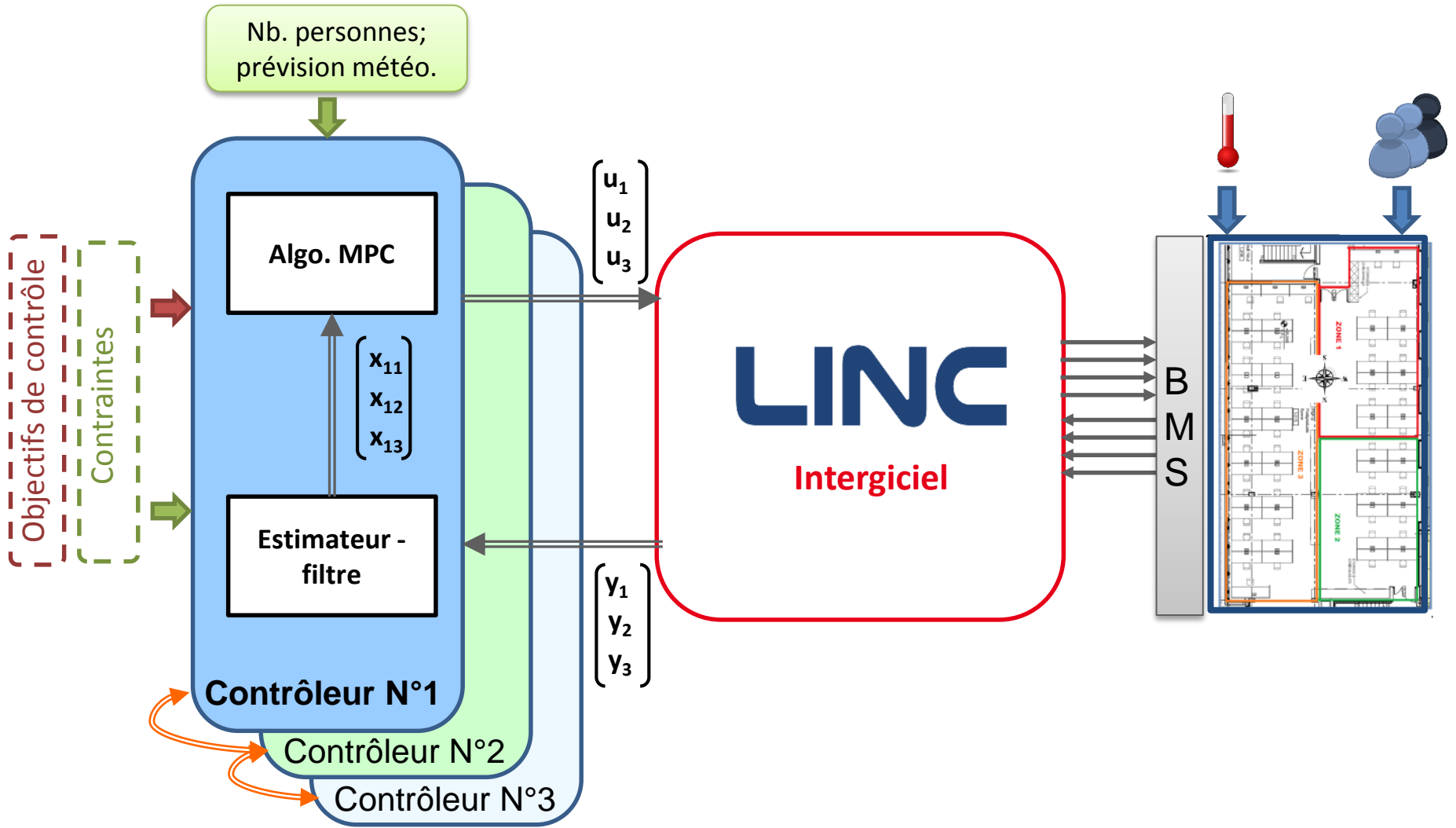
# VISION CÔTÉ CONTRÔLEUR DISTRIBUTUÉ (MPC)



# CONNEXION AU MONDE PHYSIQUE



# INTERGICIEL DE COORDINATION



# UN « MIDDLEWARE » POUR QUOI FAIRE ?



Application

Intergiciel



Ressources

LINC

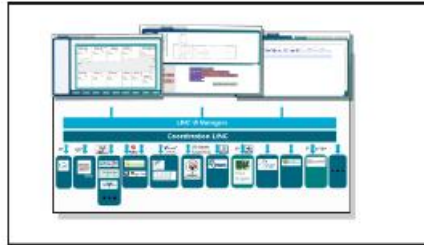


Le **middleware** permet notamment de

- Récupérer de l'information
- Déclencher des actions sur la base d'évènements complexes
- Coordonner des systèmes (distribués) hétérogènes
- Le tout de manière fiable et sécurisée



# LES DOMAINES D'APPLICATION DE LINC



**Building management**

Silver Economy

Industrial IoT

Document management

Innovation

Robotic

Use case validation

Digital Health

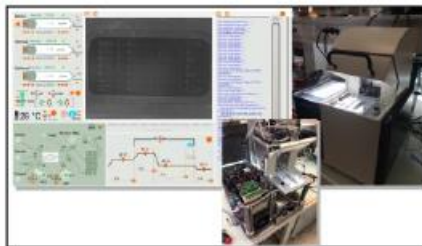
Usages

Industrial gateway

Industry 4.0

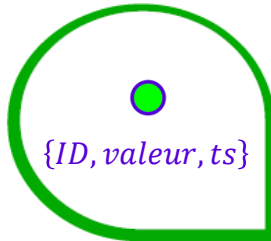
Complex systems

**Energy management**

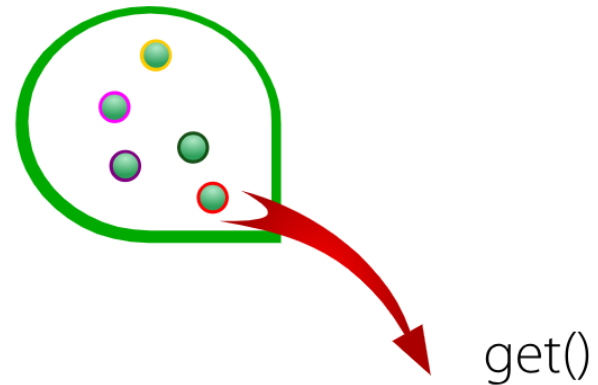
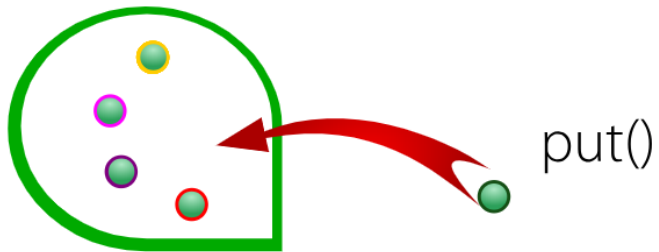
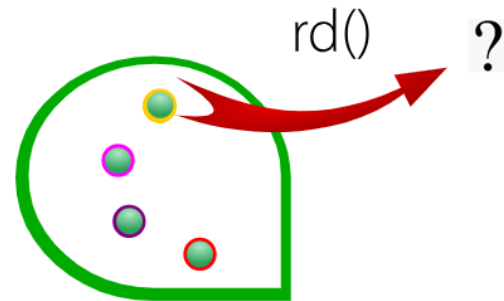


# LINC OU « DES SACS POUR ABSTRAIRE LE MONDE »

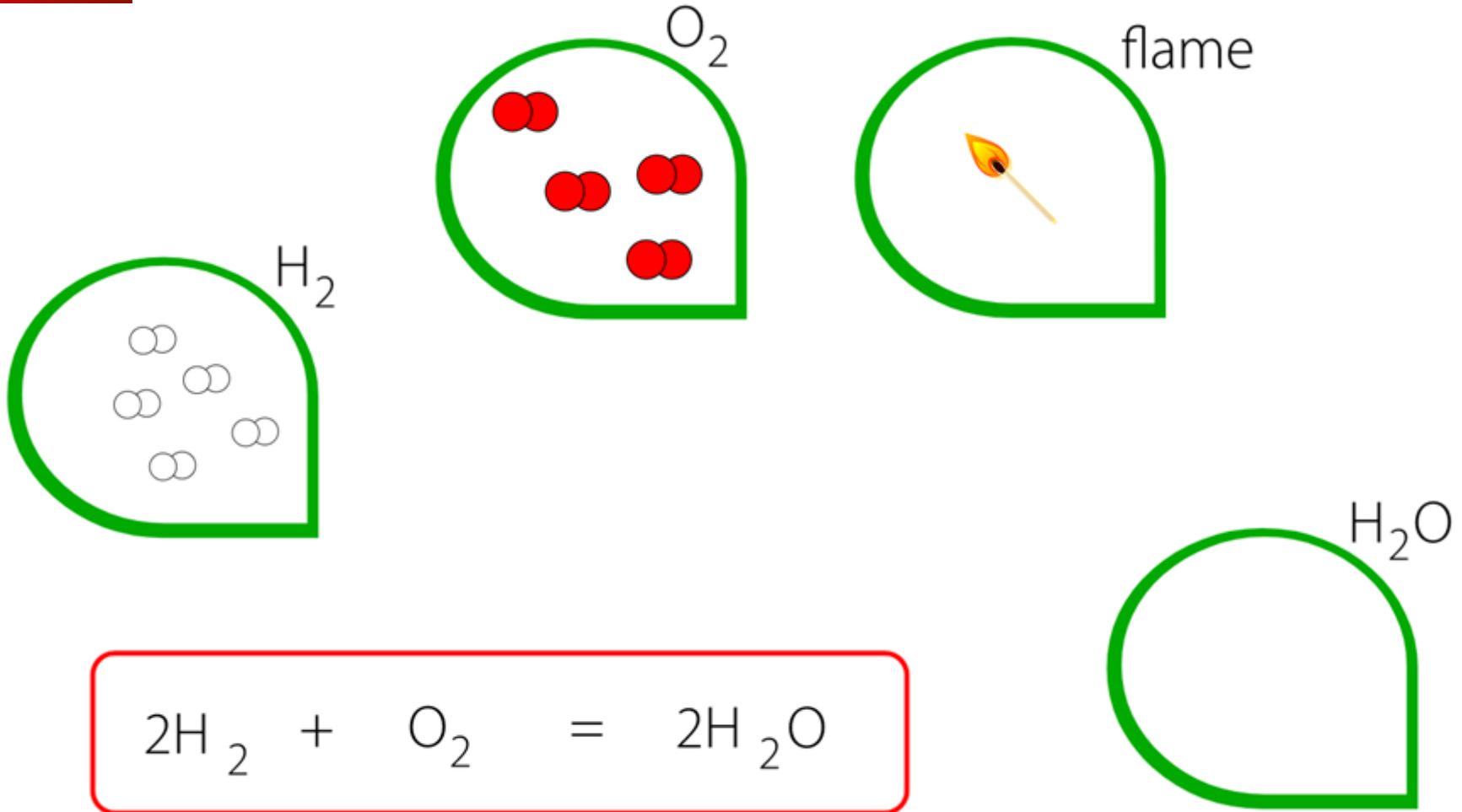
Sac



Ressource

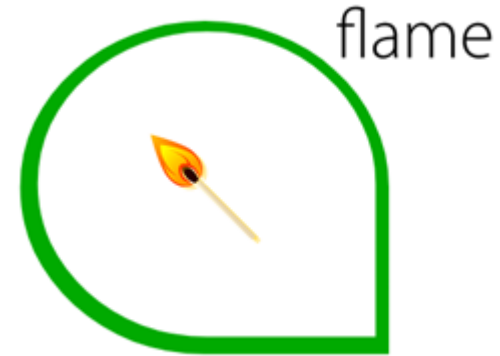
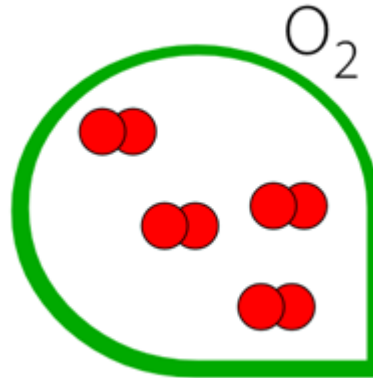
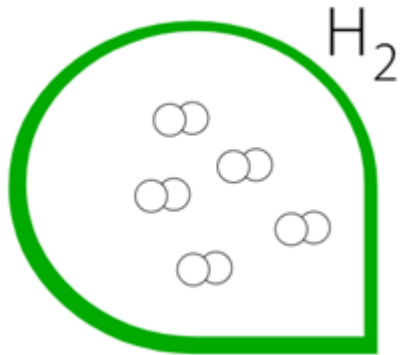


## EXEMPLE : RÉACTION CHIMIQUE



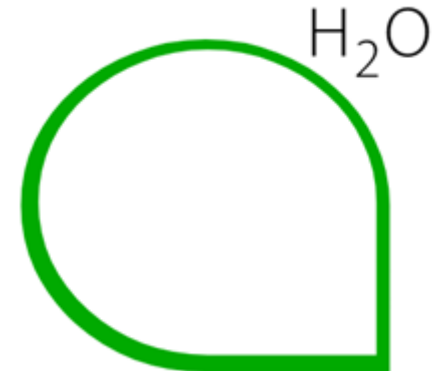


## EXEMPLE : RÈGLE LINC



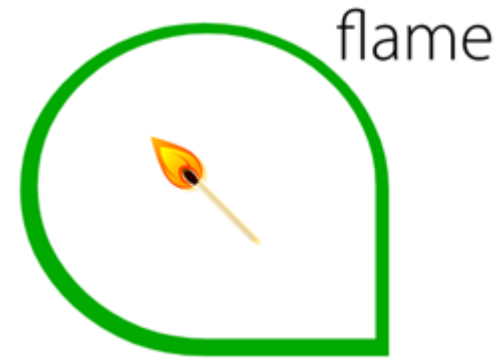
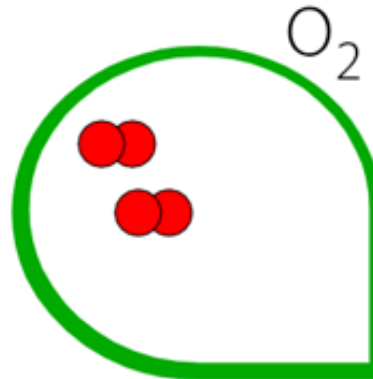
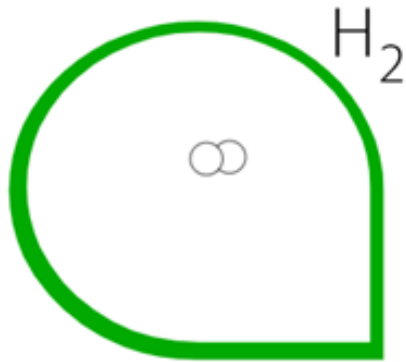
```
["flame"].rd(flame) &
["O2"].rd("O2_molecule") &
["H2"].rd("H2_molecule") &
```

```
::
{
  ["flame"].rd(flame);
  ["O2"].get("O2_molecule");
  ["H2"].get("H2_molecule");
  ["H2"].get("H2_molecule");
  ["H2O"].put("water");
  ["H2O"].put("water");
}
```



Ces évènements initiateurs  
doivent avoir lieu  
**simultanément**

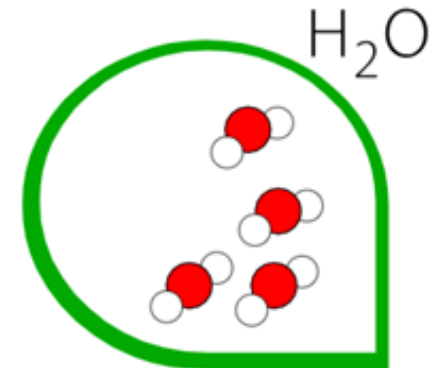
## EXEMPLE : RÈGLE LINC



Ces actions seront  
réalisées dans leur  
**intégralité** ou **pas du tout**

```
["flame"].rd(flame) &
["O2"].rd("O2_molecule") &
["H2"].rd("H2_molecule") &
::
```

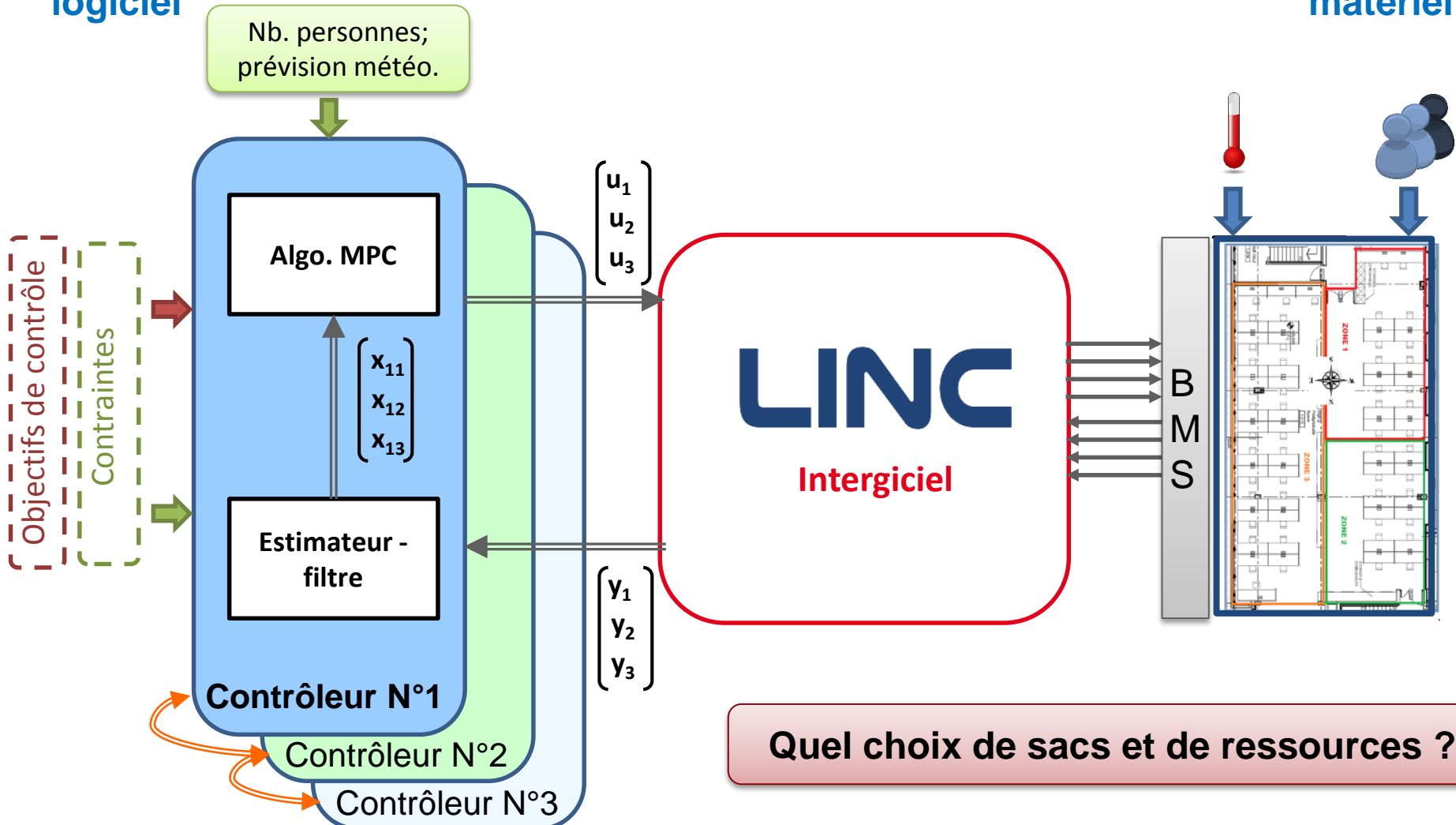
```
{
  ["flame"].rd(flame);
  ["O2"].get("O2_molecule");
  ["H2"].get("H2_molecule");
  ["H2"].get("H2_molecule");
  ["H2O"].put("water");
  ["H2O"].put("water");
}
```



# RETOUR SUR NOTRE ARCHITECTURE DE CONTRÔLE

Composants logiciel

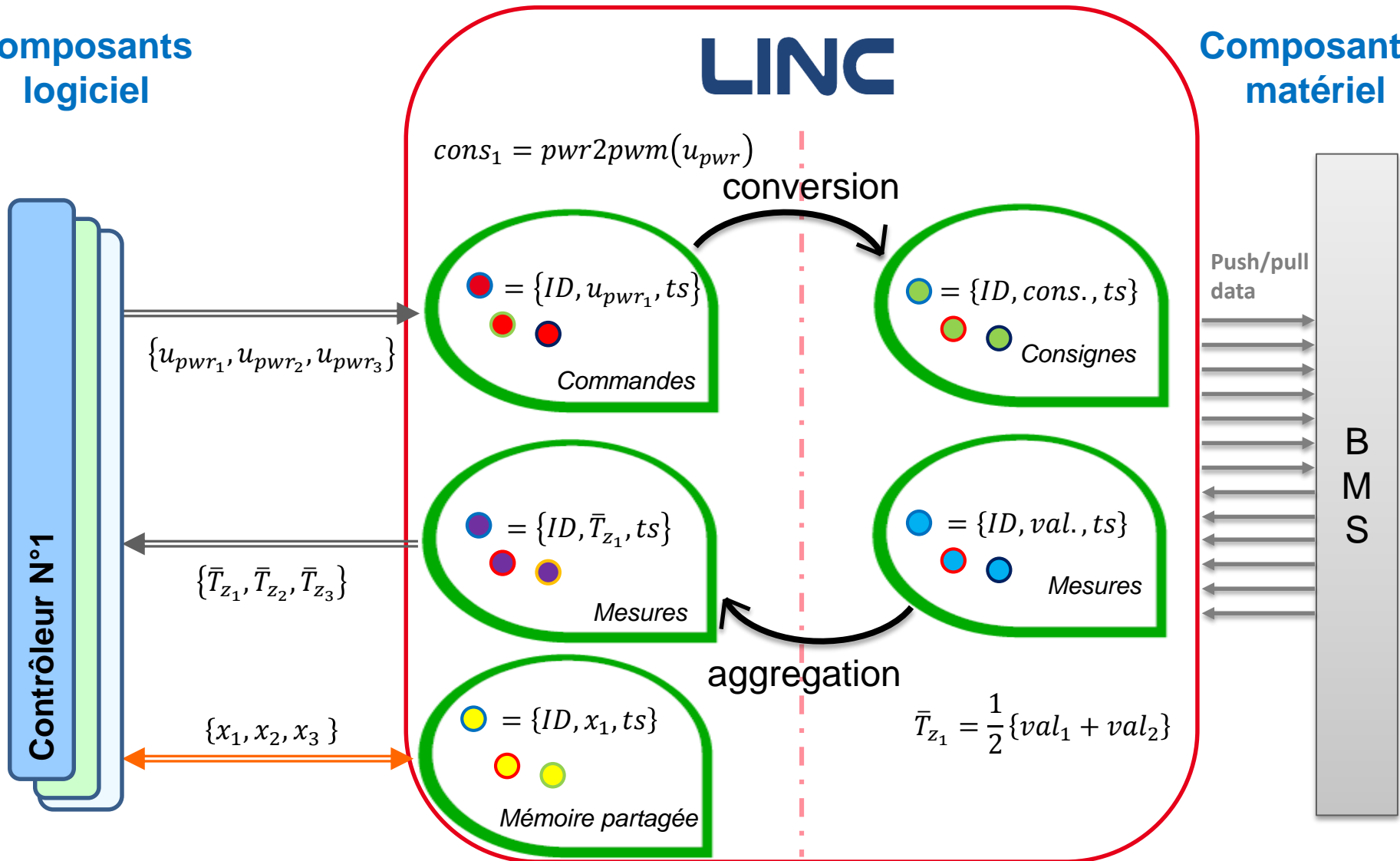
Composants matériel



# LA COMMANDE PRÉDICTIVE À TRAVERS LINC

Composants  
logiciel

Composants  
matériel

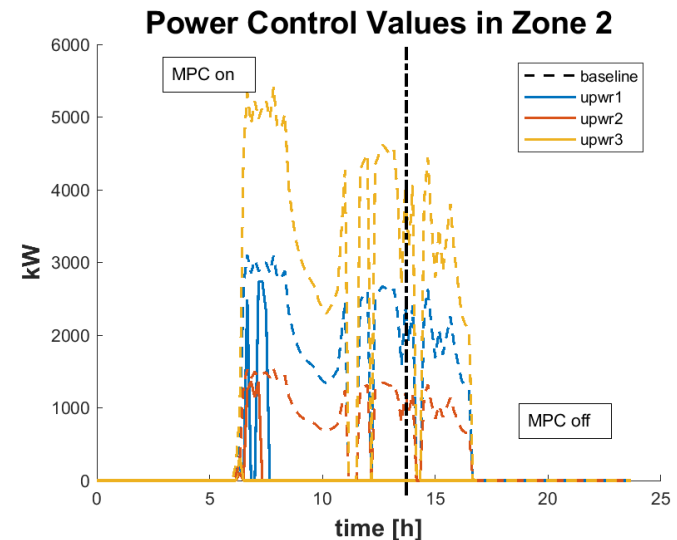
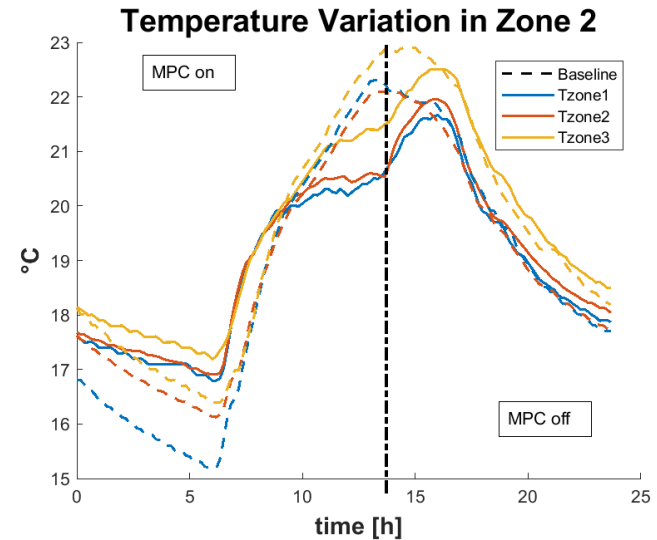


## Scenarios

- « pointillée » = contrôleur initial
- 3 zones
- Conditions *hivernales*
- $T_{ref} = 21^{\circ}C$

## Résultats

- Baisse usage radiateur (économie d'énergie)
- Amélioration du confort thermique



- **Fiabilité & Adaptabilité**

- Panne d'un **capteur ou actionneur** ?
  - LINC détecte & alerte
  - Contrôleur actifs (dégradé)
- Arrêt d'un **contrôleur** ?
  - LINC détecte & alerte
  - Autres contrôleurs actifs (dégradé)
  - Redémarrage « à chaud »
- **Maintenance** de la machine hébergeant LINC?
  - Redémarrage auto. de LINC
  - Mode autonome des contrôleurs (décentralisé)

- **Modularité & Généricité**

- **Modification** d'un contrôleur ?
  - Transparent
- Ajout d'une **nouvelle zone** ?
  - Nouvelle ressource
  - Sacs conservés
- Nouvelles **fonctionnalités** ?
  - Observateurs
  - Détection de fautes
  - IHM
- **Simulation** d'une ressource:
  - « BMS » virtuel
  - Validation de briques

## Une technologie mature du CEA ...

- TRL 7 pour le cœur de la technologie
- Démonstrateurs développés avec des industriels (IRT Nanoelec)
- Bibliothèque de composants réutilisables par domaine d'application

## Un composant logiciel validé ...

- Gestion du compromis énergie / confort avec contraintes
- Conception générique et fiable
- Passage à l'échelle (distribué)

## ... exploitée aujourd'hui par la start-up

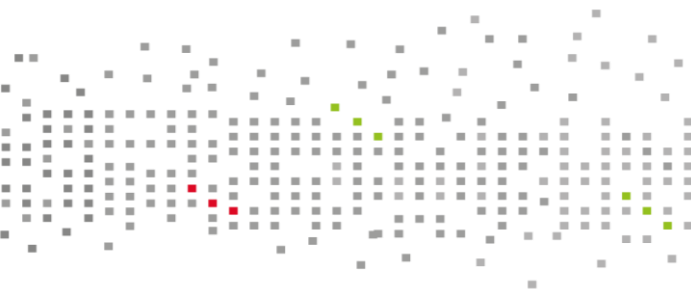


## ... perspectives

- Coordination de contrôleurs pour de grands systèmes complexes distribués

## ... perspectives

- MPC embarqué  
(*partenariat industriel*)
- Architecture hiérarchisée distribuée



---

**Leti, technology research institute**

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Minatec Campus | 17 rue des Martyrs | 38054 Grenoble Cedex | France  
[www.leti-cea.com](http://www.leti-cea.com)

