

Un duo grenoblois gagnant ?

L'intersection de l'Automatique et de l'Informatique

L'aventure du MAT 01

Contributeurs:

R. David, Ph. Denoyelle, L. Dugard, J. Dumon, A. Franco, I.D. Landau, N. Marchand, A. Nègre, D. Rey, E. Saunier C. Vilain

Présenté par: **Ioan Landau**

UGA Hors Murs – 17 Novembre 2021

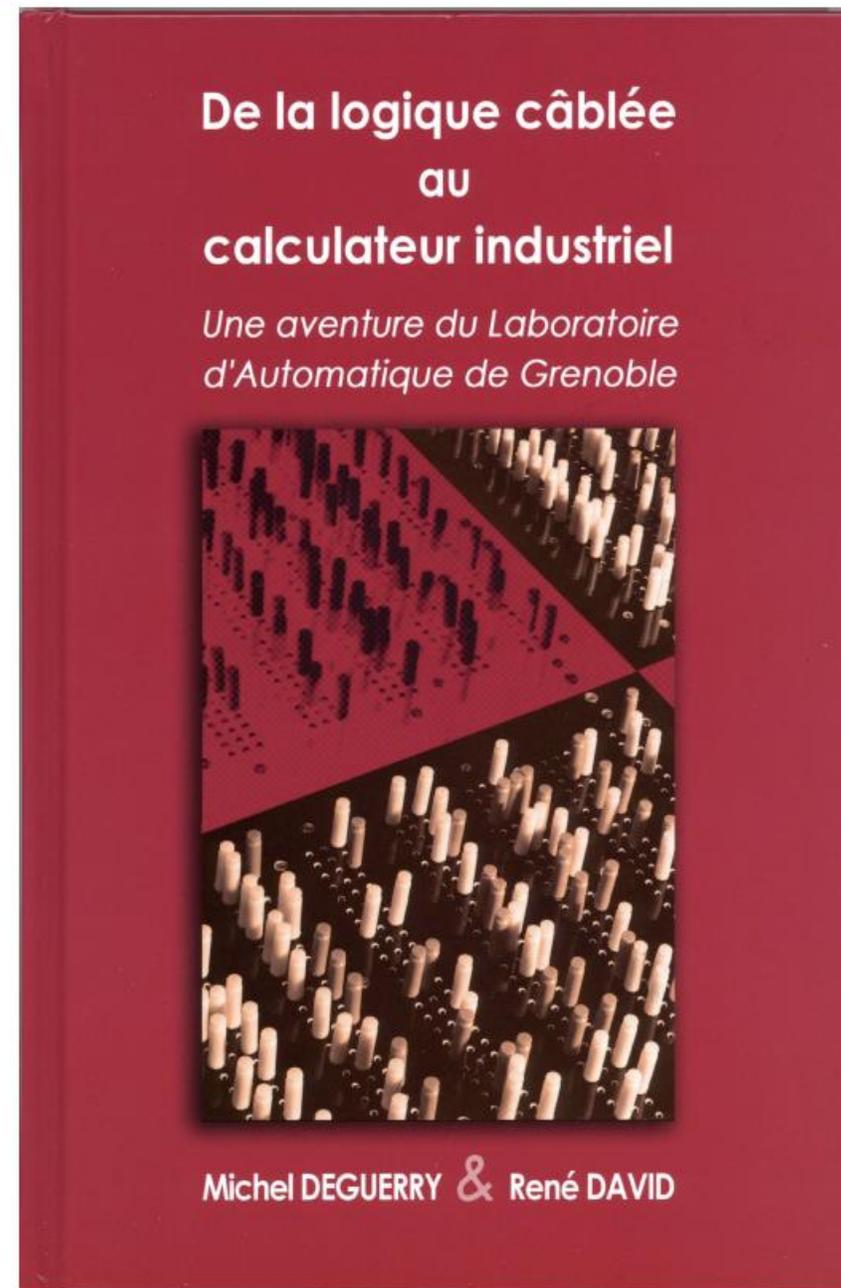
Version: 24/10/2021

Notre principale source documentaire:

La publication de cet ouvrage
est une des actions marquant les

50 ans d'automatique à Grenoble

2008



Mais on peut encore aujourd'hui prendre conscience de l'impact de cette
« aventure scientifique »!!

La technologie a énormément avancé mais les problèmes de base sont les mêmes

Mais on peut encore aujourd'hui prendre conscience de l'impact de cette « aventure scientifique »!!

La technologie a énormément avancé mais les problèmes de base sont les mêmes

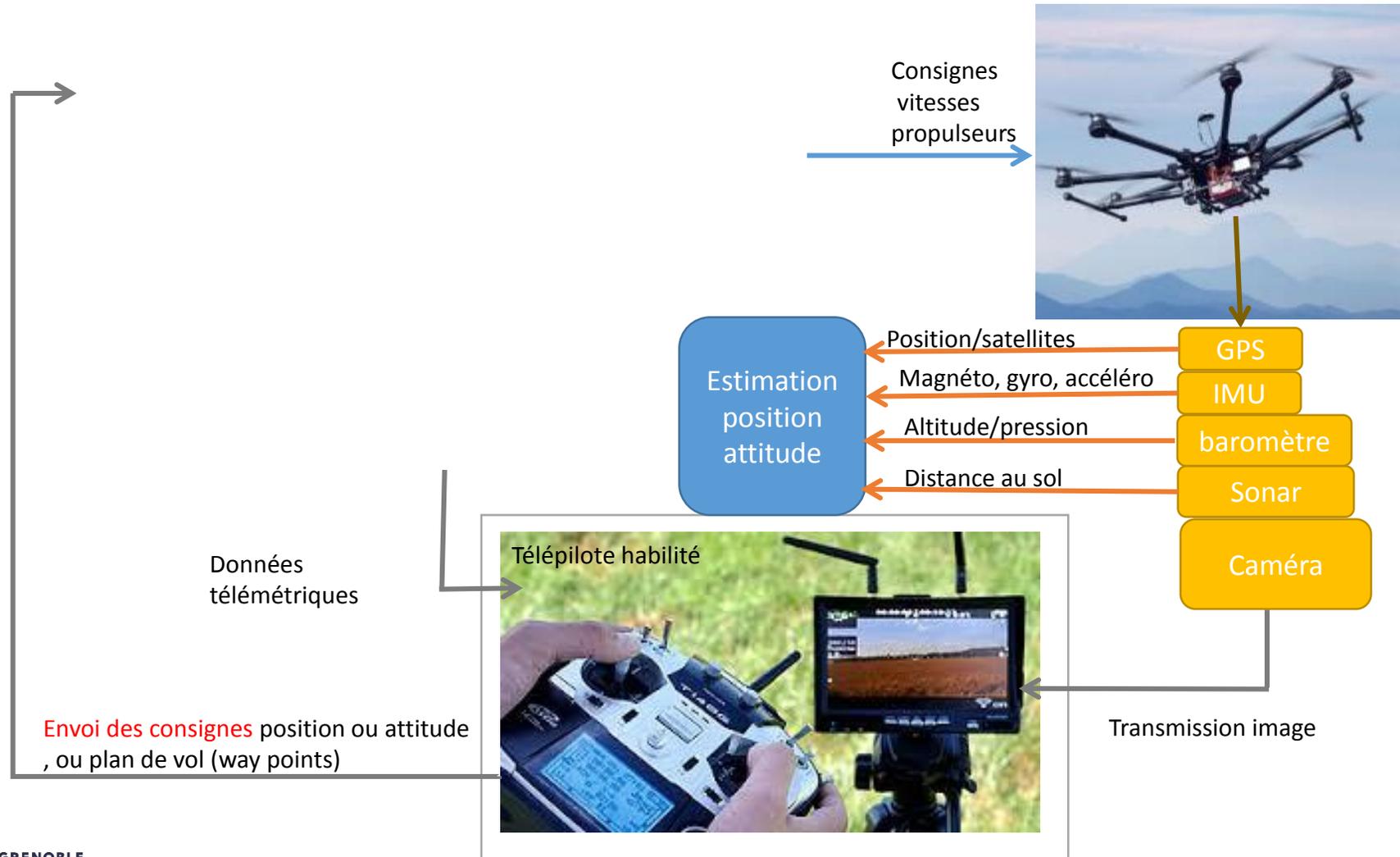
Pour ancrer l'exposé dans le présent on a pris comme exemple la commande des « drones » (sujet de recherche au GIPSA qui a donné lieu à la création de plusieurs « start-up »)

Ici la vidéo drones

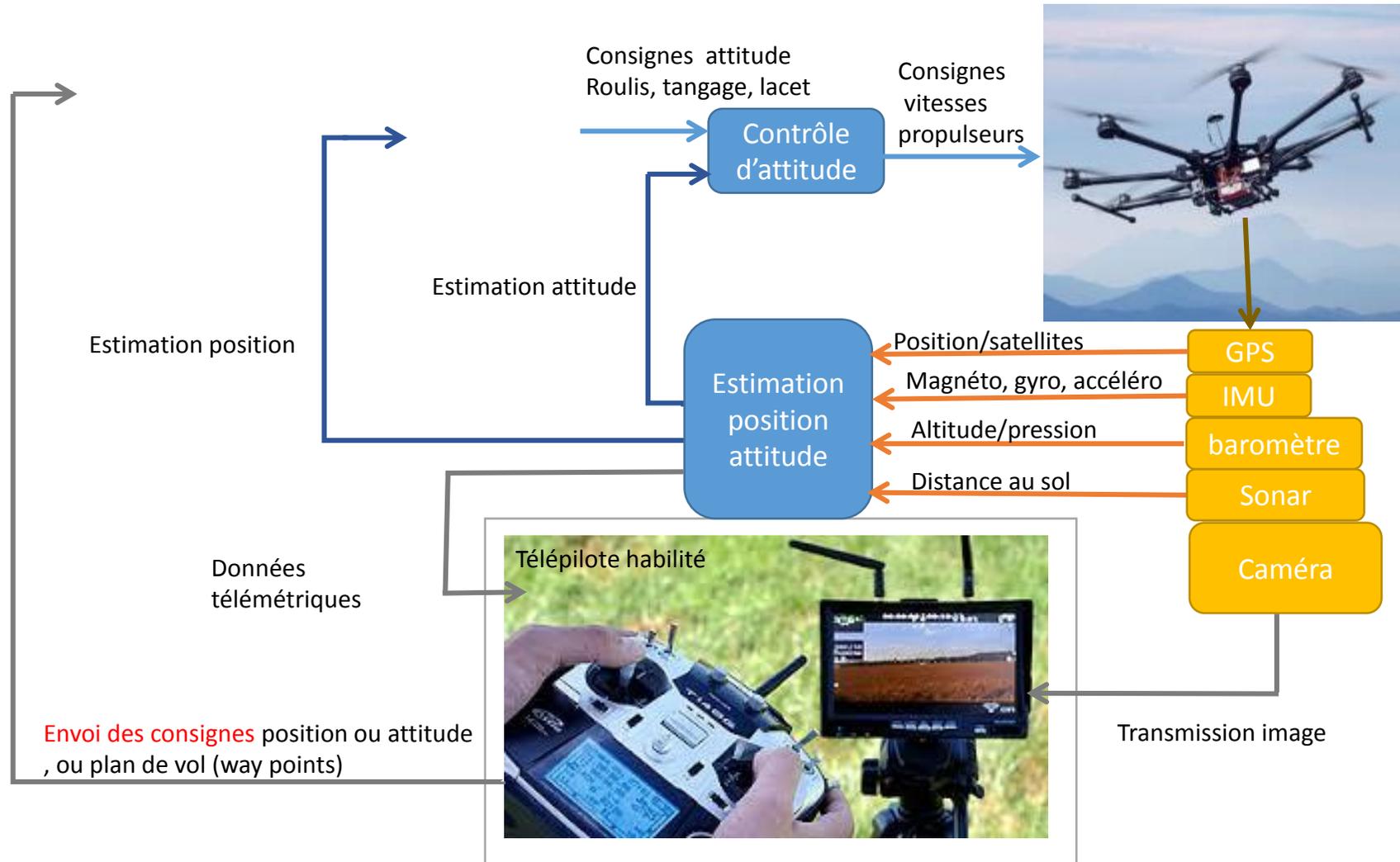
Le drone et le pilote



Pour pouvoir commander le drone il faut le localiser dans l'espace



Première boucle de régulation : le contrôle d'attitude



Une deuxième boucle de régulation (en cascade): contrôle de position

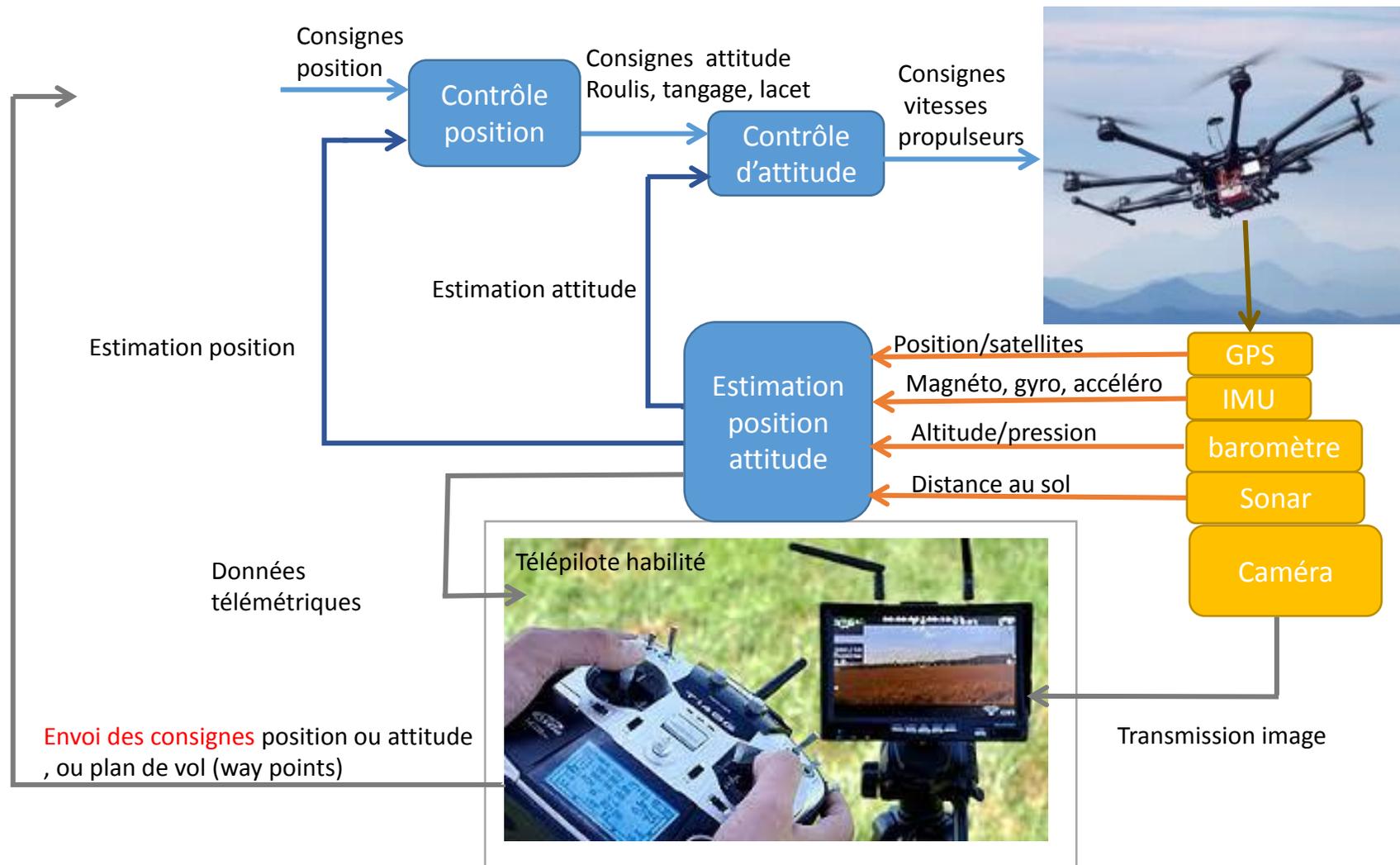
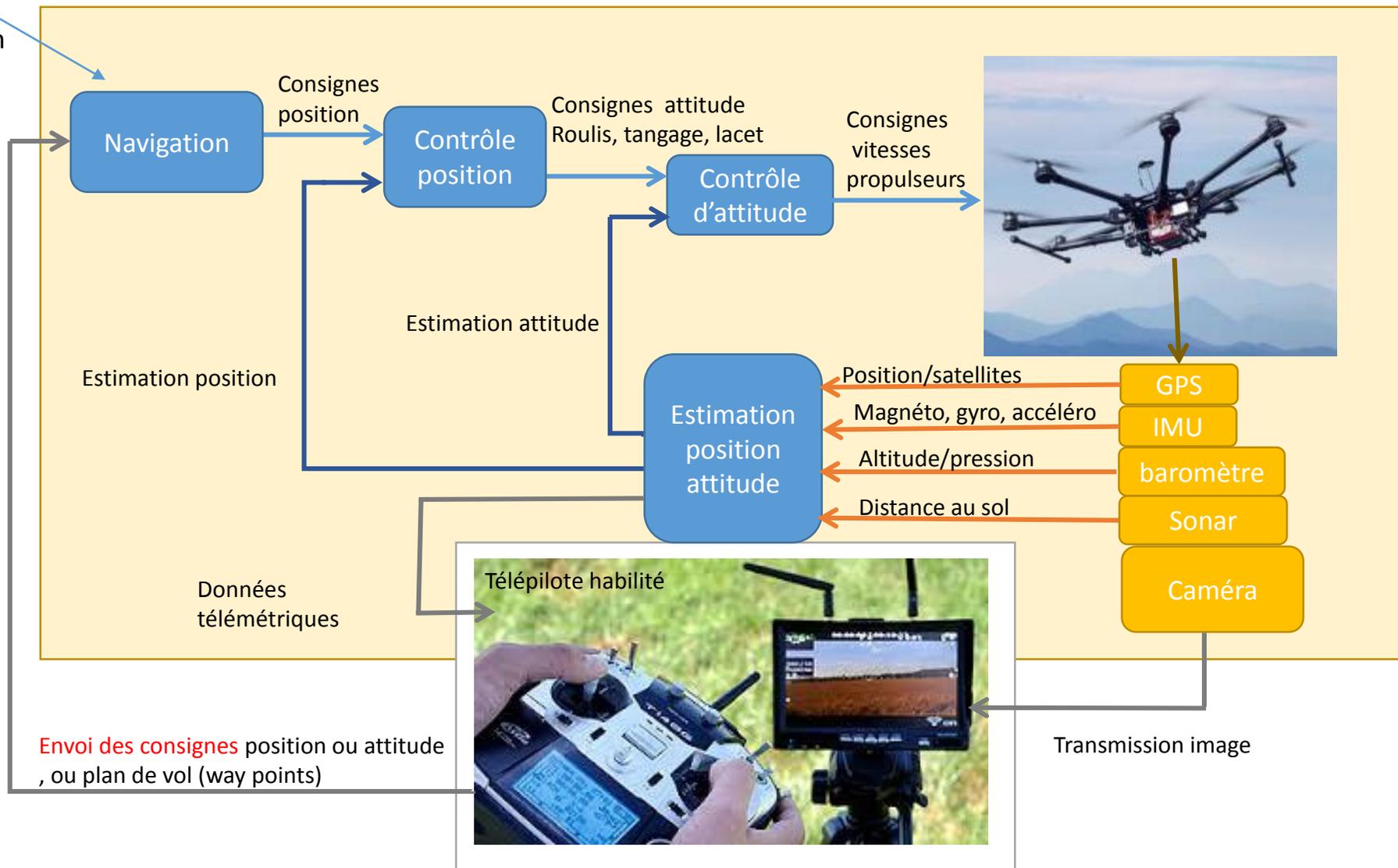


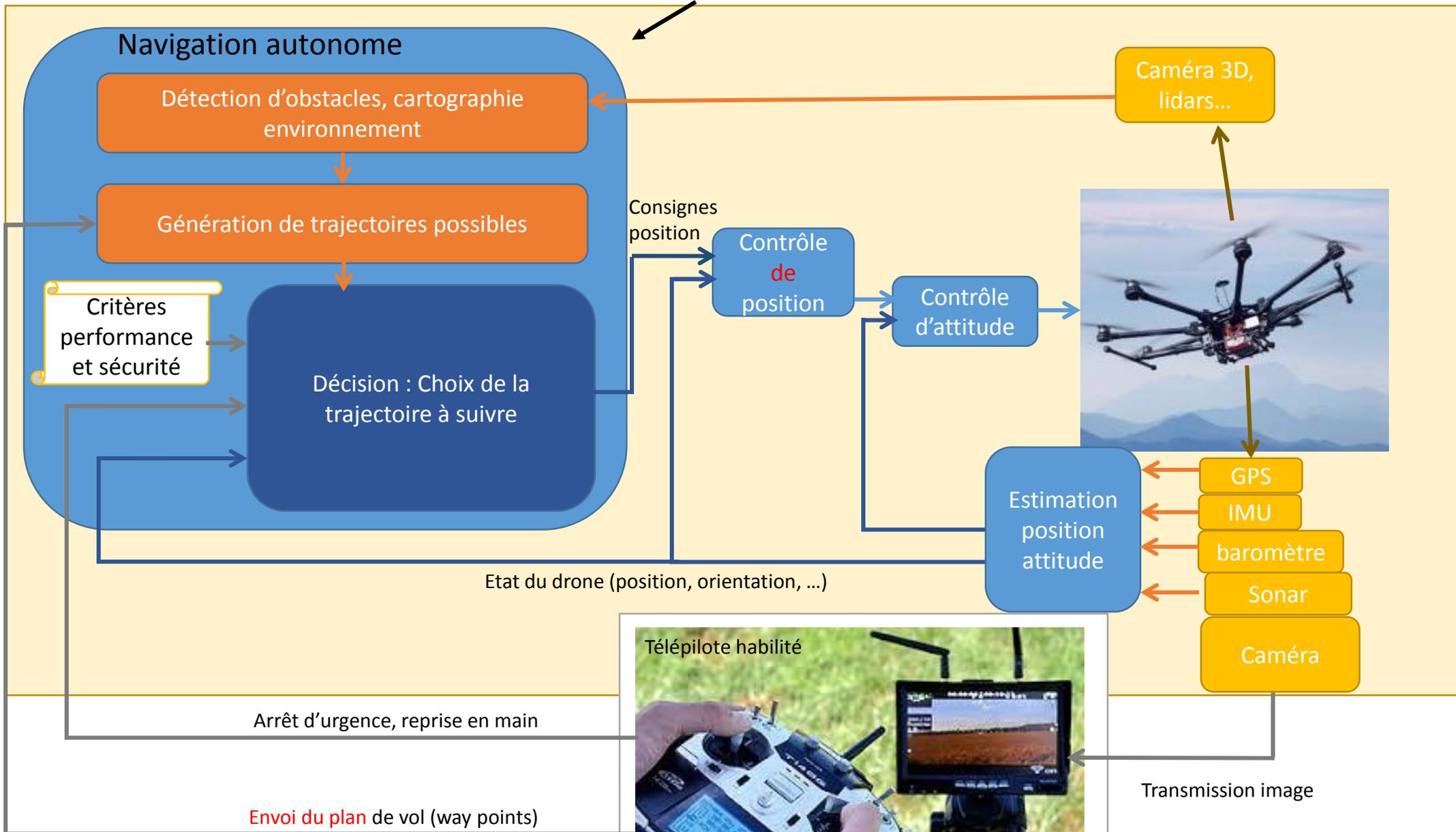
Schéma synthétique de l'architecture de commande d'un drone

Convertit le plan de vol en consignes de position





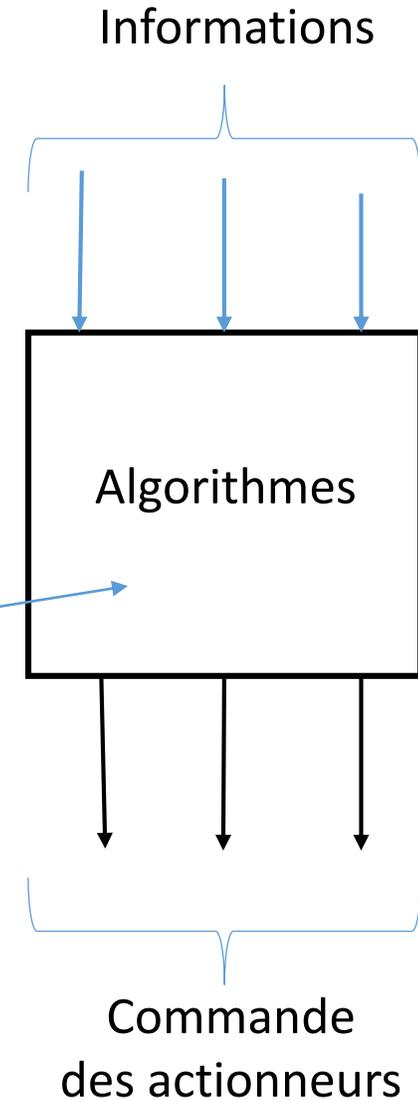
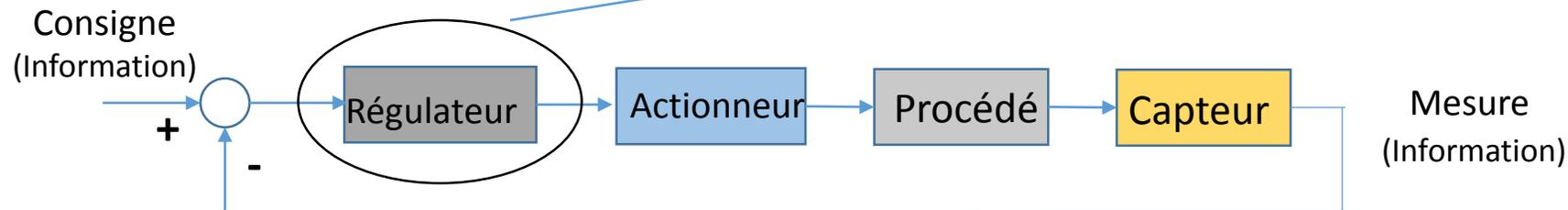
Aspects logiques/ décisionnels pour la navigation autonome



Aspects Régulation/Commande

Fonctions régulateur:

- Compare les mesures avec les valeurs désirées
- Produit la commande à appliquer au actionneurs (à partir de l'erreur entre valeurs désirées et mesures)
- Fonctionne à très grande vitesse (~2ms pour les drones)
- Nécessite la connaissance du modèle (dynamique) de l'objet commandé
- Ce sont des systèmes à contre-réaction (feedback)

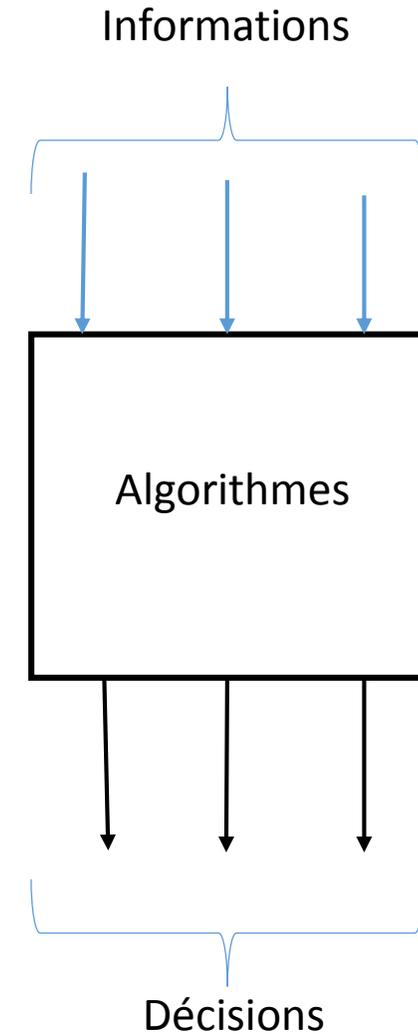


Aspects Logiques/ Décisionnels

- Plan de vol et contraintes sur le terrain
- Interaction pilote et conduite autonome (prise en compte des contraintes)



Consignes envoyées à la boucle de commande



POUR RESUMER

Pour gouverner un système (drone, avion, colonne à distiller, réacteur chimique, voiture, ...) il y a deux aspects:

POUR RESUMER

Pour gouverner un système (drone, avion, colonne à distiller, réacteur chimique, voiture, ...) il y a deux aspects:

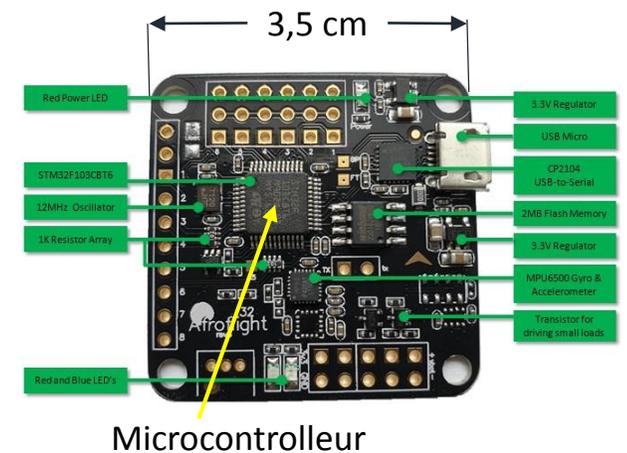
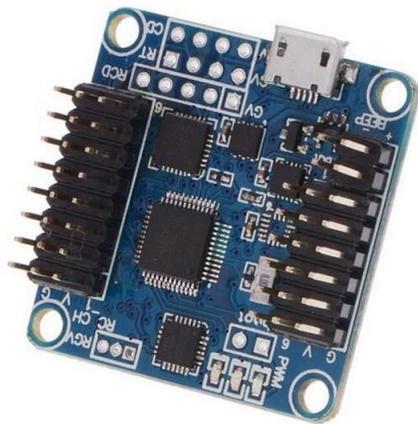
- Contrôler avec précision, à l'aide des actionneurs, des variables mesurées par des capteurs (la vitesse d'une voiture, l'altitude d'un avion, la température de l'acier en fusion, **etc.**)
- Prendre des décisions en fonction de l'environnement (valeur désirée de la vitesse de la voiture, arrêt d'urgence, etc.)

POUR RESUMER

Pour gouverner un système (drone, avion, colonne à distiller, réacteur chimique, voiture, ...) il y a deux aspects:

- Contrôler avec précision, à l'aide des actionneurs, des variables mesurées par des capteurs (la vitesse d'une voiture, l'altitude d'un avion, la température de l'acier en fusion, etc.)
- Prendre des décisions en fonction de l'environnement (valeur désirée de la vitesse de la voiture, arrêt d'urgence, etc.)

Avec la technologie actuelle ces 2 fonctions peuvent être effectuées par un (micro) ordinateur doté d'interfaces et d'une horloge temps réel (cadencement des opérations)

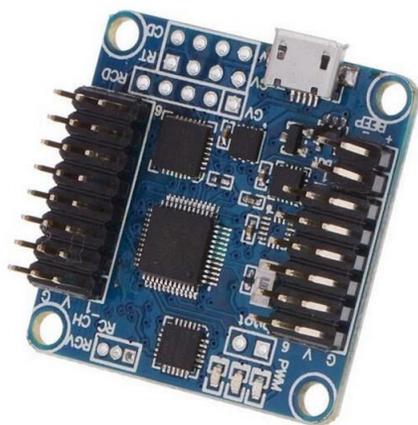


POUR RESUMER

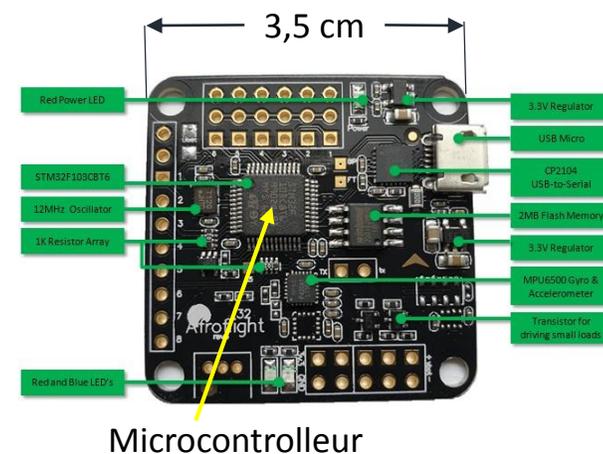
Pour gouverner un système (drone, avion, colonne à distiller, réacteur chimique, voiture, ...) il y a deux aspects:

- Contrôler avec précision, à l'aide des actionneurs, des variables mesurées par des capteurs (la vitesse d'une voiture, l'altitude d'un avion, la température de l'acier en fusion, etc.)
- Prendre des décisions en fonction de l'environnement (valeur désirée de la vitesse de la voiture, arrêt d'urgence, etc.)

Avec la technologie actuelle ces 2 fonctions peuvent être effectuées par un (micro) ordinateur doté d'interfaces et d'une horloge temps réel (cadencement des opérations)



Ce n'était pas le cas il y a 65 ans!



Messages importants!

Sans des microprocesseurs (puissants) dotés d'interfaces appropriées cette réalisation (et d'autres) ne serait pas possible!

Messages importants!

Sans des microprocesseurs (puissants) dotés d'interfaces appropriées cette réalisation (et d'autres) **ne serait pas possible!**

Sans des algorithmes appropriés développés en automatique (ou développés par des automaticiens) cette réalisation **ne serait pas possible.**

Messages importants!

Sans des microprocesseurs (puissants) dotés d'interfaces appropriées cette réalisation (et d'autres) **ne serait pas possible!**

Sans des algorithmes appropriés développés en automatique (ou développés par des automaticiens) cette réalisation **ne serait pas possible.**

Quelle que soit la puissance de calcul **sans les algorithmes issus de l'automatique**, la commande des procédés industriels, des systèmes aéronautiques des robots, etc. **ne serait pas possible**

Messages importants!

Sans des microprocesseurs (puissants) dotés d'interfaces appropriées cette réalisation (et d'autres) **ne serait pas possible!**

Sans des algorithmes appropriés développés en automatique (ou développés par des automaticiens) cette réalisation **ne serait pas possible.**

Quelle que soit la puissance de calcul **sans les algorithmes issus de l'automatique**, la commande des procédés industriels, des systèmes aéronautiques des robots, **etc.** **ne serait pas possible**

L'automatique a dû prendre en compte le langage des ordinateurs numériques pour pouvoir produire des algorithmes efficaces

Il y a plus de 65 ans

- quand l'automatique était mise en œuvre par des circuits électroniques **analogiques**,
- quand les décisions logiques étaient mises en œuvre par des circuits électroniques **câblés**,
- quand l'informatique était encore balbutiante,

Il y a plus de 65 ans

- quand l'automatique était mise en œuvre par des circuits électroniques **analogiques**,
- quand les décisions logiques étaient mises en œuvre par des circuits électroniques **câblés**,
- quand l'informatique était encore balbutiante,

Un Grenoblois a eu l'**intuition** de l'intérêt d'une synergie entre l'**Automatique*** et l'**Informatique*** conduisant à la mise en œuvre des opérations de commande/régulation par **calculateur numérique**.

**Les mots automatique et informatique n'existaient pas dans les années 50. Automatique (1960), Informatique (1962)*

Professeur René Perret



(1924 - 2003)

Fondateur du Laboratoire d'Automatique de Grenoble (1957-58)

Founder of the Grenoble Control Laboratory (LAG)

Parcours de René Perret

- Ingénieur Electricien de Grenoble (1950) puis Ingénieur Radio-Electricien de Grenoble (1951)
- Doctorat ès Sciences, 11 juillet 1956 à Grenoble
 - 1^{ère} Thèse (recherche) : Stabilisation des transports d'énergie à longue distance (*utilise théorie des servomécanismes*)
 - 2^{ème} Thèse (bibliographie) : Technologie des calculateurs arithmétiques

Parcours de René Perret

- Ingénieur Electricien de Grenoble (1950) puis Ingénieur Radio-Electricien de Grenoble (1951)
- Doctorat ès Sciences, 11 juillet 1956 à Grenoble
 - 1^{ère} Thèse (recherche) : Stabilisation des transports d'énergie à longue distance (*utilise théorie des servomécanismes*)
 - 2^{ème} Thèse (bibliographie) : Technologie des calculateurs arithmétiques
- Séjours au Laboratoire de Calcul de l'Université Harvard puis au Laboratoire de Calcul du National Bureau of Standard à Washington (1956-1957). (*fondamental pour une prise de conscience du développement des calculateurs*)

Parcours de René Perret

- Ingénieur Electricien de Grenoble (1950) puis Ingénieur Radio-Electricien de Grenoble (1951)
- Doctorat ès Sciences, 11 juillet 1956 à Grenoble
 - 1^{ère} Thèse (recherche) : Stabilisation des transports d'énergie à longue distance (*utilise théorie des servomécanismes*)
 - 2^{ème} Thèse (bibliographie) : Technologie des calculateurs arithmétiques
- Séjours au Laboratoire de Calcul de l'Université Harvard puis au Laboratoire de Calcul du National Bureau of Standard à Washington (1956-1957). (*fondamental pour une prise de conscience du développement des calculateurs*)
- Maître de Conférences de Servomécanismes , Fac. des Sciences de Grenoble 1957
- Création du Laboratoire de Servomécanismes en 1957 devenu **Laboratoire d'Automatique de Grenoble** 1961 (Directeur du Laboratoire, jusqu'en 1983)
- Création du 3^{ème} cycle de Servomécanismes 1958, puis de la section spéciale Automatique à l'IPG 1961
- **Le LAG est associé au CNRS en 1969**
- Création de la section normale Automatique à l'ENSIEG, 1978

L'origine et le contexte de la vision de R. Perret

- Les applications industrielles de l'automatique deviennent de plus en plus exigeantes en terme de performance.
- Des techniques plus évoluées s'appuyant sur des nouveau développement théoriques sont à prendre en compte.
- La technologie « câblée » qu'il s'agisse de la régulation ou des commandes logiques n'a pas d'avenir dans le contexte d'une part de la complexification des algorithmes et d'autre part de la demande de flexibilité de conception.
- Besoin d'un outil flexible permettant de mettre en œuvre (et modifier aisément) les algorithmes de de commande/régulation.

L'origine et le contexte de la vision de R. Perret

- Les applications industrielles de l'automatique deviennent de plus en plus exigeantes en terme de performance.
- Des techniques plus évoluées s'appuyant sur des nouveau développement théoriques sont à prendre en compte.
- La technologie « câblée » qu'il s'agisse de la régulation ou des commandes logiques n'a pas d'avenir dans le contexte d'une part de la complexification des algorithmes et d'autre part de la demande de flexibilité de conception.
- Besoin d'un outil flexible permettant de mettre en œuvre (et modifier aisément) les algorithmes de de commande/régulation.



Le calculateur industriel

Capable de mettre en œuvre des algorithmes d'automatique, de dialoguer en temps réel avec le système (via des capteurs et actionneurs) **et** d'assurer la sécurité de fonctionnement du systèmes (gestion des alarmes).

La vision de René Perret

- Les importantes avancées théoriques en Automatique de la fin des années 50 au début des années 60 doivent être transformées en une méthodologie applicable sur différents types de systèmes.

La vision de René Perret

- Les importantes avancées théoriques en Automatique de la fin des années 50 au début des années 60 doivent être transformées en une méthodologie applicable sur différents types de systèmes.
- Ces nouvelles techniques potentiellement très performantes nécessitent des puissances de calcul importantes inatteignables avec les techniques électroniques analogiques.

La vision de René Perret

- Les importantes avancées théoriques en Automatique de la fin des années 50 au début des années 60 doivent être transformées en une méthodologie applicable sur différents types de systèmes.
- Ces nouvelles techniques potentiellement très performantes nécessitent des puissances de calcul importantes inatteignables avec les techniques électroniques analogiques.
- Il convient donc de développer un nouveau type de calculateur numérique (appelé calculateur industriel) permettant la mise en œuvre en temps réel des nouvelles techniques d'automatique.

La vision de René Perret

- Les importantes avancées théoriques en Automatique de la fin des années 50 au début des années 60 doivent être transformées en une méthodologie applicable sur différents types de systèmes.
- Ces nouvelles techniques potentiellement très performantes nécessitent des puissances de calcul importantes inatteignables avec les techniques électroniques analogiques.
- Il convient donc de développer un nouveau type de calculateur numérique (appelé calculateur industriel) permettant la mise en œuvre en temps réel des nouvelles techniques d'automatique.
- Il convient aussi de reformuler les problèmes d'automatique en tenant compte des spécificités des calculateurs numériques (ex: systèmes échantillonnés).

La vision de René Perret

- Les importantes avancées théoriques en Automatique de la fin des années 50 au début des années 60 doivent être transformées en une méthodologie applicable sur différents types de systèmes.
- Ces nouvelles techniques potentiellement très performantes nécessitent des puissances de calcul importantes inatteignables avec les techniques électroniques analogiques.
- Il convient donc de développer un nouveau type de calculateur numérique (appelé calculateur industriel) permettant la mise en œuvre en temps réel des nouvelles techniques d'automatique.
- Il convient aussi de reformuler les problèmes d'automatique en tenant compte des spécificités des calculateurs numériques (ex: systèmes échantillonnés).
- Pour valider cette nouvelle technologie et convaincre les industriels, il est indispensable que le laboratoire se dote d'installations expérimentales (pilotes) représentatives de la réalité industrielle.

La vision de René Perret

- Les importantes avancées théoriques en Automatique de la fin des années 50 au début des années 60 doivent être transformées en une méthodologie applicable sur différents types de systèmes.
- Ces nouvelles techniques potentiellement très performantes nécessitent des puissances de calcul importantes inatteignables avec les techniques électroniques analogiques.
- Il convient donc de développer un nouveau type de calculateur numérique (appelé calculateur industriel) permettant la mise en œuvre en temps réel des nouvelles techniques d'automatique.
- Il convient aussi de reformuler les problèmes d'automatique en tenant compte des spécificités des calculateurs numériques (ex: systèmes échantillonnés).
- Pour valider cette nouvelle technologie et convaincre les industriels, il est indispensable que le laboratoire se dote d'installations expérimentales (pilotes) représentatives de la réalité industrielle.
- Développement d'un enseignement permettant de former des ingénieurs avec des compétences dans cette nouvelle approche technologique (un bon équilibre entre algorithmes et applications).

Le « calculateur industriel » MAT 01 (Société Mors)

Industrial Computer MAT 01 designed in the LAG (Lab. d'Automatique de Grenoble) and manufactured by Mors



Le MAT 01 avec les interfaces

Le Produit MORS

Prototype: 1965

**Conçu dans le cadre de thèses
(Pajus, Sempé)**



Détails dans le livre de Michel Deguerry et René David:

« *De la Logique Câblée au Calculateur Industriel – Une aventure du Laboratoire d'Automatique* »

Comment on est arrivé au MAT 01?

A l'origine, deux hommes entrepreneurs :

- un jeune universitaire, René PERRET (fondateur du Laboratoire de' Automatique de Grenoble)
- un ingénieur de terrain, Guy JARDIN (fondateur de la société MORS à Grenoble)



René Perret



Guy Jardin

Comment on est arrivé au MAT 01?

A l'origine, deux hommes entrepreneurs :

- un jeune universitaire, René PERRET (fondateur du Laboratoire de' Automatique de Grenoble)
- un ingénieur de terrain, Guy JARDIN (fondateur de la société MORS à Grenoble)

4 Etapes

Etape 1 : application des transistors et de la logique booléenne. Développement du **Logimors** et d'une gamme de produits standard.

Etape 2 : utilisation des circuits logiques et des mémoires à tores pour la conception d'un **calculateur Industriel**.

Etape 3 : expérimentation sur sites industriels dans la cadre de contrats recevant une **aide financière de la DGRST**.

Etape 4 : développement de méthodes de **contrôle/commande** de processus industriels et **applications des calculateurs**.



René Perret



Guy Jardin

Le MAT 01 et La suite

- Réalisation rendue possible grâce à l'esprit d'initiative grenoblois,
- La personnalité des porteurs du projet (Perret, Jardin),



Guy Jardin



René Perret

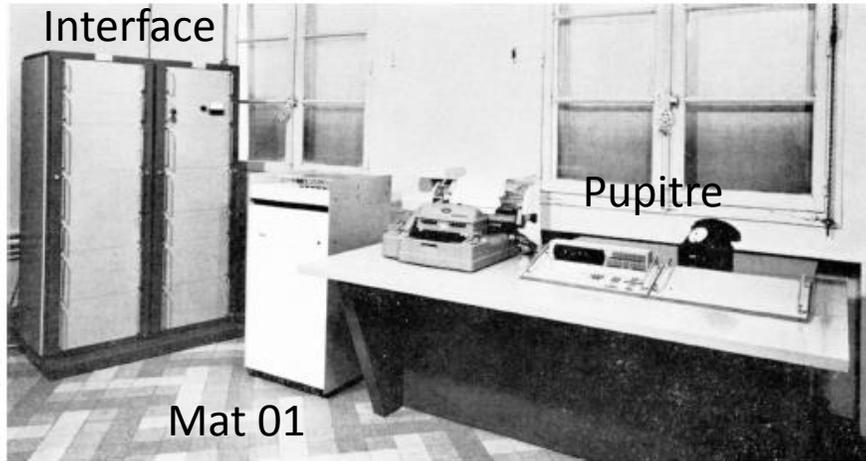
- L'intérêt des industriels
- L'aide de la DGRST (Déléation Générale pour la Recherche Scientifique et Technique).

Premiers utilisateurs :

NAPHTACHIMIE Lavera, SUD AVIATION Toulouse (Concorde), USINOR Dunkerque, SHELL Petit-Couronne, ENEL Naples

La suite : T 2000 (Télémécanique)

Le MAT 01 de MORS



Premier calculateur industriel français à circuits intégrés

l'automateur mat 01

du 20 octobre 1965
au 20 octobre 1967

L'Automateur MAT 01 premier calculateur français à circuits intégrés, spécifiquement industriel, créé en 1965 par MORS, est devenu en moins de trois ans un outil de production hautement apprécié dans les branches les plus diverses. Ses principales applications sont la réalisation d'automatismes à séquences, le déchargement de mesures et la conduite optimisée de processus. Il convient à des entreprises de toute taille selon la nature de leurs activités.

Société d'électricité Mors Division ATM
27 rue Petit 92 Clichy Tél 737 54 70

mors

Publicité



Photo 8.5 Bernard Sempé, penché sur le pupitre du MAT 01, met ce calculateur en service pour le test de la structure du Concorde (Toulouse, décembre 1966).



Photo 8.2 De gauche à droite Jean-Pierre Chaffard, René Gaillard (Directeur Technique), Jean-Pierre Epoudry, Guy Melchior, Pierre Talin (Directeur Production). Chaffard, Epoudry et Melchior sont des ingénieurs technico-commerciaux.

Les cadres



Fabrication

MAT 01 et la suite

En trois ans il y a eu une quinzaine s'installations de MAT01 dans la grande industrie.

MAT 01 et la suite

En trois ans il y a eu une quinzaine s'installations de MAT01 dans la grande industrie.

Rachat de MORS par Télémécanique (toujours Grenoble)

La Télémécanique a fabriqué la gamme T2000, T1000 et T1600 (issus du MAT 01) puis la gamme Solar.

Le total des ventes atteindra environ **15 000** unités.

L'importance du « go – between »

Michel Deguerry

Acteur essentiel de cette aventure technologique



L'importance du « go – between »

Michel Deguerry

Acteur essentiel de cette aventure technologique



- Ingénieur Electricien de Grenoble et Licencié ès Sciences 1958
 - 3^{ème} cycle de Servomécanismes (qui vient d'être créé par René Perret) 1958-1959
- Octobre 1959 : devient le **premier Assistant de René Perret** et commence un travail de thèse
 - **Doctorat** de 3^{ème} cycle, 23 septembre 1961.
 - Obtient le diplôme d'Ingénieur Automaticien nouvellement créé 1961
- **Entre dans l'industrie dans la société Mors (1964)**
 - Fit partie de l'équipe qui créa le MAT01,
 - Directeur-adjoint du Département Automatique de la société Mors
 - **La Télémécanique: membre de la Direction Générale**, en charge de la Division Electronique (1500 personnes)
 - Membre du **Comité Automatisation de la DGRST**

En quoi un calculateur de commande se distingue d'un ordinateur de (gestion) ?

En quoi un calculateur de commande se distingue d'un ordinateur de (gestion) ?

La spécificité des Calculateurs Industriels. : la capacité de gérer un procédé (industriel) en temps réel

- Horloge temps réel (cadence d'acquisition et commande)
- Gestion des priorités temporelles
- Gestion des systèmes entrées sorties (capteurs, actionneurs)
- Système d'exploitation spécifique
- Gestion des interruptions

Les Pilotes. Pourquoi?

- Crédibilisation des recherches effectuées sur des pilotes semi-industriels et des installations industrielles.

Les Pilotes. Pourquoi?

- Crédibilisation des recherches effectuées sur des pilotes semi-industriels et des installations industrielles.
- Confrontation avec une réalité expérimentale permettant de développer, d'évaluer et améliorer différentes techniques d'automatique.

Les Pilotes. Pourquoi?

- Crédibilisation des recherches effectuées sur des pilotes semi-industriels et des installations industrielles.
- Confrontation avec une réalité expérimentale permettant de développer, d'évaluer et améliorer différentes techniques d'automatique.
- Mise en évidence de l'importance du concept de « modèle mathématique du système » tant pour la conception loi de commande que pour des besoins de simulation (ex: formation des opérateurs pour les colonnes à distiller).

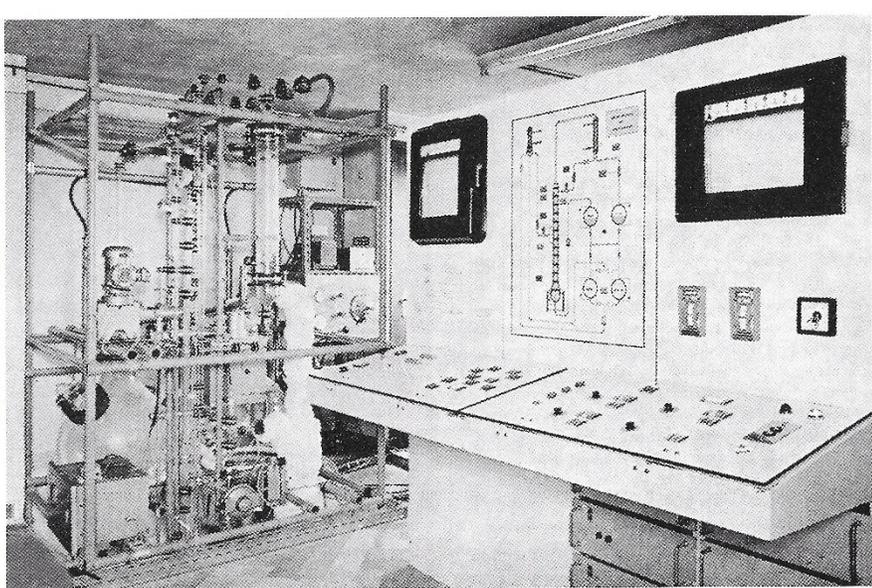
Les Pilotes. Pourquoi?

- Crédibilisation des recherches effectuées sur des pilotes semi-industriels et des installations industrielles.
- Confrontation avec une réalité expérimentale permettant de développer, d'évaluer et améliorer différentes techniques d'automatique.
- Mise en évidence de l'importance du concept de « modèle mathématique du système » tant pour la conception loi de commande que pour des besoins de simulation (ex: formation des opérateurs pour les colonnes à distiller).
- Développement de techniques spécifiques de modélisation et d'identification des modèles de systèmes à partir des données expérimentales.

Les Pilotes. Pourquoi?

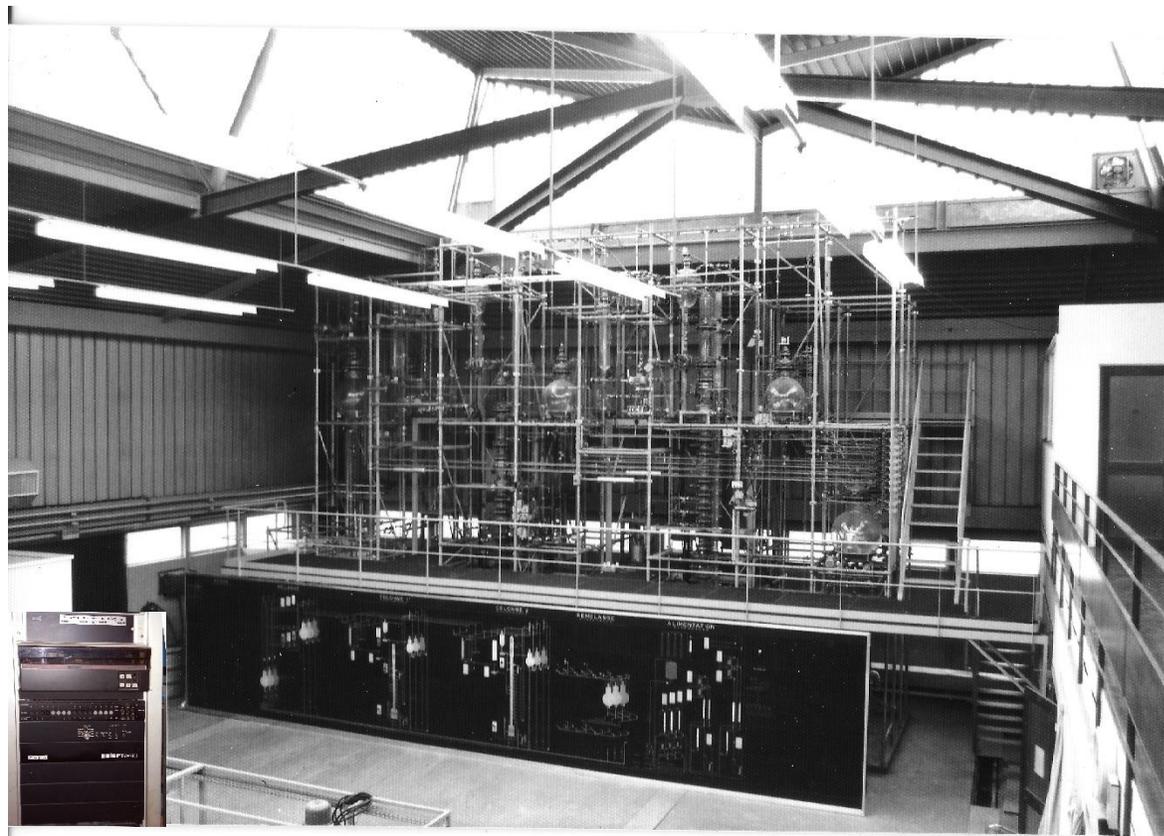
- Crédibilisation des recherches effectuées sur des pilotes semi-industriels et des installations industrielles.
- Confrontation avec une réalité expérimentale permettant de développer, d'évaluer et améliorer différentes techniques d'automatique.
- Mise en évidence de l'importance du concept de « modèle mathématique du système » tant pour la conception loi de commande que pour des besoins de simulation (ex: formation des opérateurs pour les colonnes à distiller).
- Développement de techniques spécifiques de modélisation et d'identification des modèles de systèmes à partir des données expérimentales.
- Retombées industrielles
(ex: RSI spécialisée dans le domaine de la modélisation et la commande en pétrochimie)

Développement d' « installations pilotes » pour le test et la promotion des techniques modernes de commande



Unité pilote de distillation (LAG - cliché Rambaud, 1970)

Unité pilote de distillation (INPG - Av. F. Viallet)



Ensemble de 2 colonnes de distillation + Mélangeur
(Campus St Martin d'Hères – ENSIEG – Bât. E)

Développement d' « installations pilotes » pour le test et la promotion des techniques modernes de commande (suite)



Echangeur Thermique



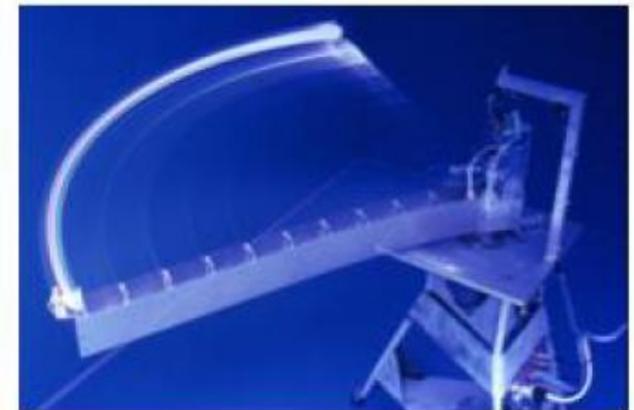
Enceinte climatique



Bât. E – Campus St Martin d'Hères



Transmission souple



Bras flexible 360°
360° Flexible Arm (LAG)

La politique des « pilotes » s'est pérennisée au cours des ans !

Retombées sur le plan scientifique

Reconnaissance sur le plan international de cette approche originale

mettant ensemble les aspects conceptuels et de mise en œuvre par ordinateur.

Un exemple :

la Première Conférence Européenne d'Automatique a été organisée à Grenoble en Juillet 1991.

Retombées sur le plan scientifique

Reconnaissance sur le plan international de cette approche originale

mettant ensemble les aspects conceptuels et de mise en œuvre par ordinateur.

Un exemple :

la Première Conférence Européenne d'Automatique a été organisée à Grenoble en Juillet 1991.

Le Laboratoire est devenu très attractif!

Attractivité du labo liée à la forte interaction entre travaux théoriques et appliqués
(*alors que sur le plan mondial il y avait soit des laboratoires tournés uniquement sur la théorie (pas d'applications) soit des laboratoires tournés vers les applications (mais en utilisant uniquement des techniques de commande traditionnelles).*

Retombées sur le plan scientifique

Reconnaissance sur le plan international de cette approche originale

mettant ensemble les aspects conceptuels et de mise en œuvre par ordinateur.

Un exemple :

la Première Conférence Européenne d'Automatique a été organisée à Grenoble en Juillet 1991.

Le Laboratoire est devenu très attractif!

Attractivité du labo liée à la forte interaction entre travaux théoriques et appliqués
(*alors que sur le plan mondial il y avait soit des laboratoires tournés uniquement sur la théorie (pas d'applications) soit des laboratoires tournés vers les applications (mais en utilisant uniquement des techniques de commande traditionnelles)*).

Accueil d'excellents étudiants en thèse

(certains sont devenus des chercheurs de renommée mondiale)

Retombées sur le plan scientifique

Reconnaissance sur le plan international de cette approche originale

mettant ensemble les aspects conceptuels et de mise en œuvre par ordinateur.

Un exemple :

la Première Conférence Européenne d'Automatique a été organisée à Grenoble en Juillet 1991.

Le Laboratoire est devenu très attractif!

Attractivité du labo liée à la forte interaction entre travaux théoriques et appliqués
(alors que sur le plan mondial il y avait soit des laboratoires tournés uniquement sur la théorie (pas d'applications) soit des laboratoires tournés vers les applications (mais en utilisant uniquement des techniques de commande traditionnelles)).

Accueil d'excellents étudiants en thèse

(certains sont devenus des chercheurs de renommée mondiale)

Croissance significative des effectifs dans les années 80

Retombées sur le plan scientifique

Reconnaissance sur le plan international de cette approche originale

mettant ensemble les aspects conceptuels et de mise en œuvre par ordinateur.

Un exemple :

la Première Conférence Européenne d'Automatique a été organisée à Grenoble en Juillet 1991.

Le Laboratoire est devenu très attractif!

Attractivité du labo liée à la forte interaction entre travaux théoriques et appliqués
(alors que sur le plan mondial il y avait soit des laboratoires tournés uniquement sur la théorie (pas d'applications) soit des laboratoires tournés vers les applications (mais en utilisant uniquement des techniques de commande traditionnelles)).

Accueil d'excellents étudiants en thèse

(certains sont devenus des chercheurs de renommée mondiale)

Croissance significative des effectifs dans les années 80

Distinctions nationales et internationales

Et la suite

Carte de commande drone

