

1. Qu'est-ce que une commande numérique :

Le contrôle automatique est la science qui développe des techniques pour orienter, guider, contrôler les systèmes dynamiques. Ces systèmes sont construits par des humains et doivent effectuer une tâche spécifique. Des exemples de tels systèmes dynamiques sont trouvés en biologie, en physique, en robotique, en finance, etc.

Le contrôle numérique signifie que les lois de contrôle sont implémentées dans un dispositif numérique, tel qu'un microcontrôleur ou un microprocesseur. Ces appareils sont légers, rapides et économiques.

Comme les ordinateurs sont devenus plus fiables et miniaturisés, ils ont pris le relais de contrôleur. Une fois que le contrôleur analogique est remplacé par un contrôleur numérique, nous obtenons les avantages suivants:

- Le matériel est remplacé par un logiciel, qui est coûteux.
- La fonction complexe peut être implémentée dans le logiciel si facilement plutôt que le matériel.
- Fiabilité dans la mise en œuvre, cela signifie que vous pouvez simplement modifier la fonction de contrôle dans le logiciel sans coût supplémentaire.
- Les ordinateurs peuvent être utilisés pour l'enregistrement de données (surveillance), le contrôle de plusieurs boucles simultanément car les ordinateurs sont très rapides.

Comparaison : correction analogique/correction numérique.

	Numérique	Analogique
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • capacité de mémoire sans limite • grande possibilité de synthèse de la récurrence (algorithme) • algorithme adaptable • mise au point souple • convivialité (dialogue) et sécurité (séquentiel) 	<ul style="list-style-type: none"> • le système est observé en continu (adapté aux systèmes rapides) • précis
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • la boucle est ouverte en dehors des instants d'échantillonnage (oscillations non observées) • discrétisation de la mesure (précis à $q = \frac{PE}{2^N}$), ! Non linéaire : risque de cycle limite, 	<ul style="list-style-type: none"> • structure rigide ; PID(ou approchée), • possibilité de synthèse réduite, • mise au point et adaptation difficile,

	<ul style="list-style-type: none"> • compromis f_e / N (nombre de bits), pas encore adapté aux systèmes rapides (Shannon) 	<ul style="list-style-type: none"> • d'un point de vue technologique (valeurs des composants), non adapté aux systèmes lents.
--	---	--

1.1. Les contrôleurs numériques peuvent prendre l'une des formes:

Un **ordinateur** ou simplement un tableau à microprocesseur. Les microprocesseurs sont développés dans début des années 1970 en tant qu'intégration à grande échelle de circuits intégrés numériques. Une fois qu'ils ont développé et commencé à être fabriqué commercialement, contrôleur numérique sont développé.

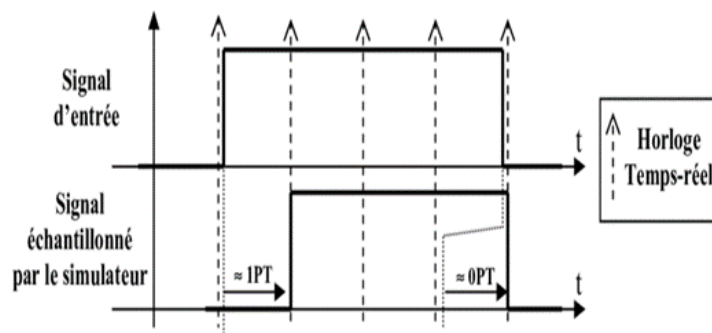
Microcontrôleur est un système à microprocesseur sur puce en tant que circuit intégré unique. Il peut être utilisé dans des applications de contrôle intégrées telles que la télévision, les téléphones mobiles, Air conditionneur, Caméra vidéo, Contrôleurs de disque dur, Robots, Fabrication de voitures intelligentes,...etc. C'est un contrôleur numérique qui peut être utilisé pour un nombre limité d'entrées et sorties dans les applications de contrôle de processus.

Contrôleur logique programmable (PLC). Ce type de contrôleur peut gérer un très grand nombre (en centaines ou milliers) d'entrées et de sorties numériques en contrôle industriel applications. Il a une interface standard avec les mesures de terrain dans l'industrie. Par conséquent, il est de plus en plus important de remplacer les anciennes armoires de commande logiques industrie par des développements PLC.

2. Fonctionnement des simulateurs « temps-réel numériques »

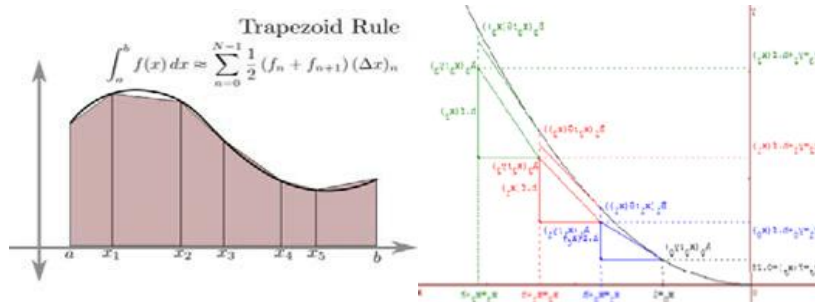
2.1. Utilisation d'un pas fixe de simulation pour :

- Synchroniser les calculs, les échantillonnages.
- La mise à jour des données en sortie du simulateur.



1.1.1. Les simulateurs *temps-réel numériques*

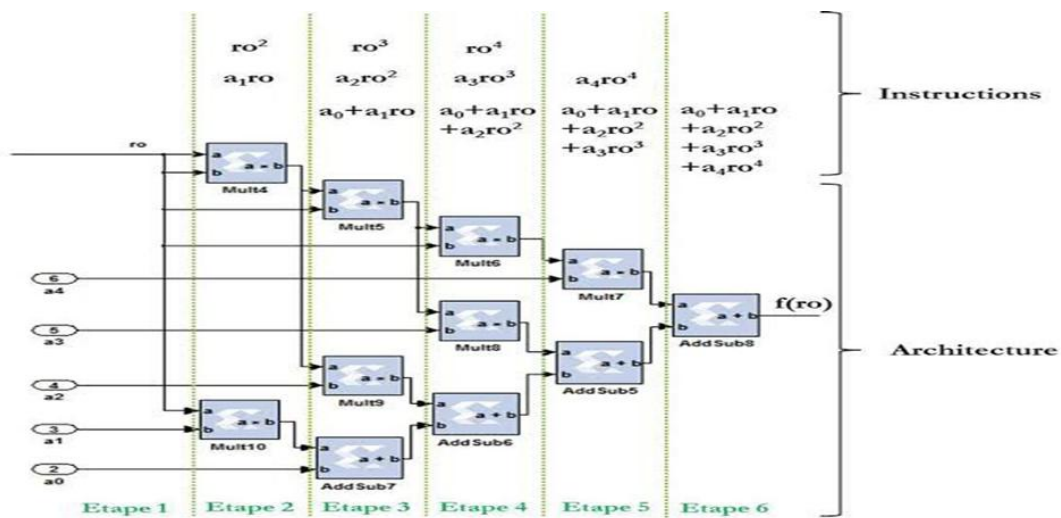
a. Les méthodes d'intégration



Remarque : Pour les diapositives à base de l'électronique de puissance (**Mixte (Euler-trapèze)**).

b. Le parallélisme

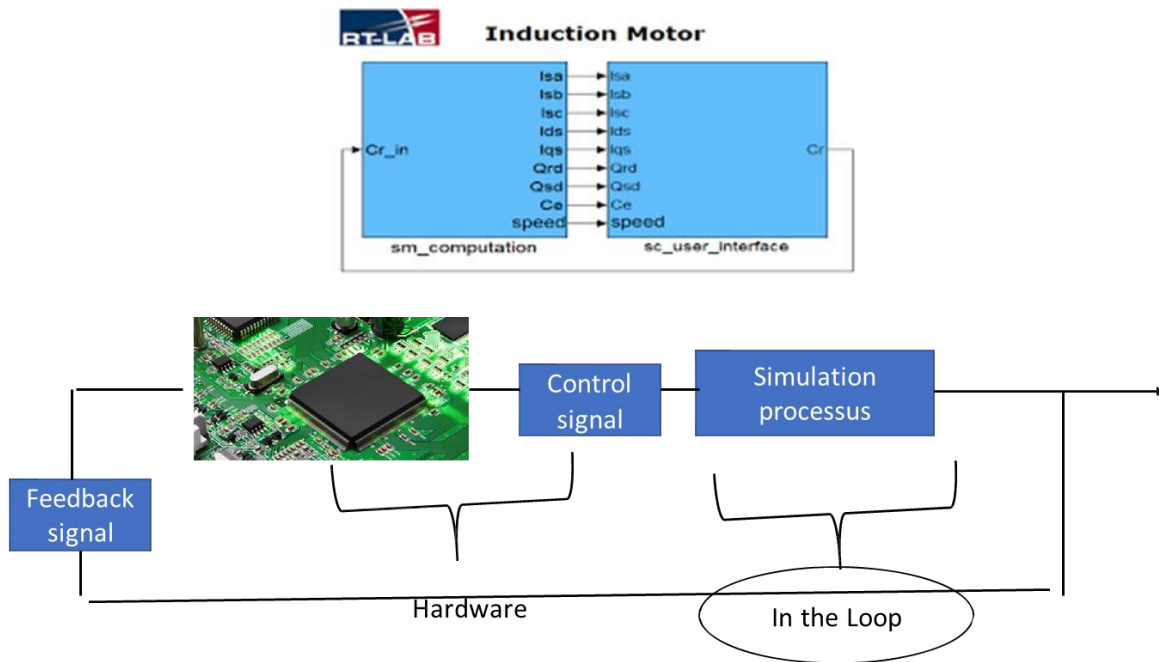
Son objectif est de répartir les tâches de calcul sur plusieurs processeurs afin d'optimiser le temps de calcul de l'ensemble.



Note : Le pas de temps de simulation moyen en TR est d'environ 50µS.

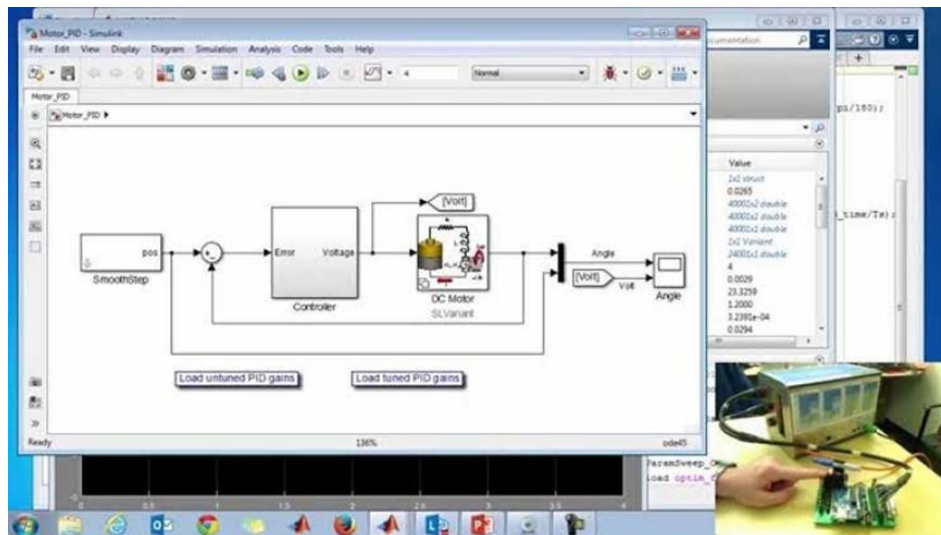
- **Hardware in the Loop HIL**

On remplace le contrôleur de la simulation par un contrôleur réel Contrôle réel



Remarque : Le système devient reproductible, flexible, efficace et a cout faible

- Outil pour tester un équipement réel dans son environnement réseau
- Présentent des limitations pour le test de certains équipements, comme par exemple : Les éléments du réseau électrique, l'éolienne et l'électronique de puissance.
- Permet de faire le prototypage rapide des systèmes de contrôle de façon économique, sécuritaire et rapide.

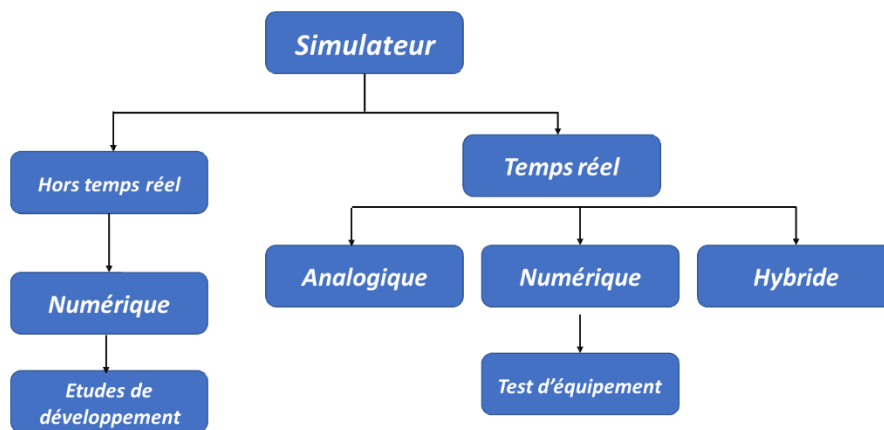


- La simulation temps réel permet de prévoir le comportement d'un système sous l'action d'un événement particulier et de voir son évolution dans le temps réel.
- Cette méthode de conception permet de réduire le facteur d'erreur humaine et les risques d'interruption du système.

- L'utilisation du temps réel est donc un outil idéal pour concevoir des systèmes de toutes sortes comparativement aux méthodes de conception traditionnelles.

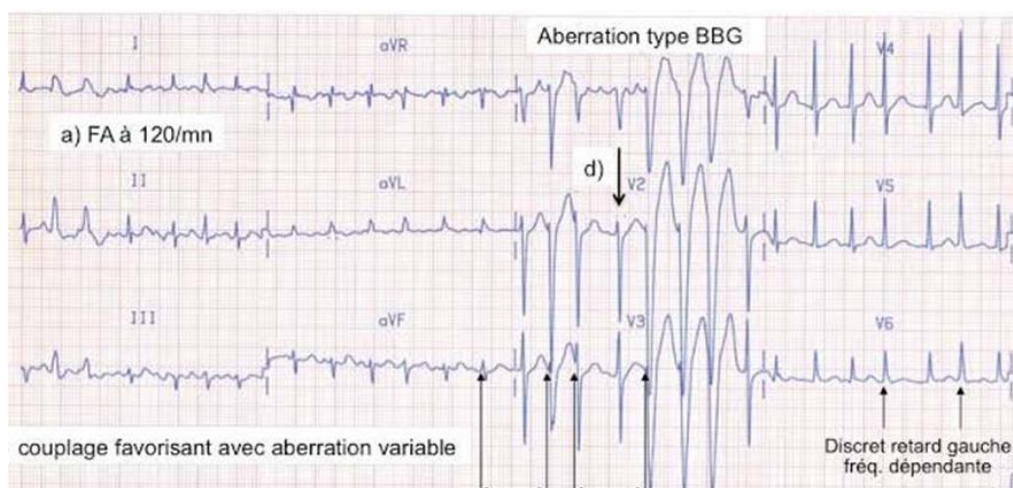


3. Classification des simulateurs



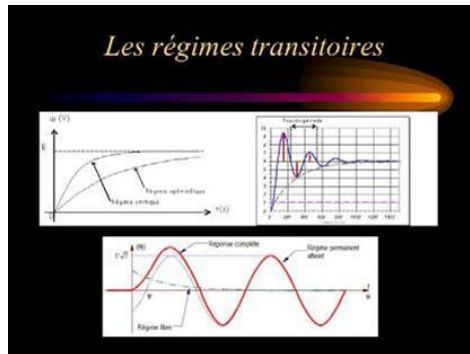
Les applications de type « test d'équipements de réseaux »

La plage fréquentielle qui doit être assurée pour l'étude de ces systèmes est comprise entre 10-1Hz et 1MHz. Ainsi, ces simulateurs nécessitent des puissances de calcul élevées et des méthodes adaptées aux fréquences des phénomènes à étudier.

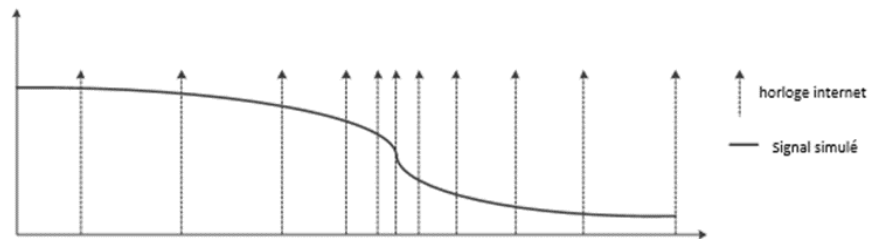


3.1. Simulateurs hors temps-réel numériques

Servent en général à des études de la conception d'équipements, aux réglages de systèmes tels que les boucles d'asservissement et à l'analyse de phénomènes transitoires ou dynamiques tels que ceux causés par le court-circuit ou les enclenchements de charge.

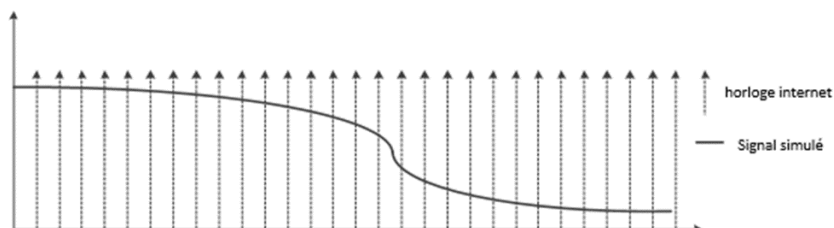


- **L'objectif de ce type de simulation**
 - Obtenir le résultat le plus précis possible en un minimum de temps.
 - Il est alors possible d'utiliser un pas de temps variable qui s'adapte à la dynamique des grandeurs simulées.



Principe d'adaptation du pas variable

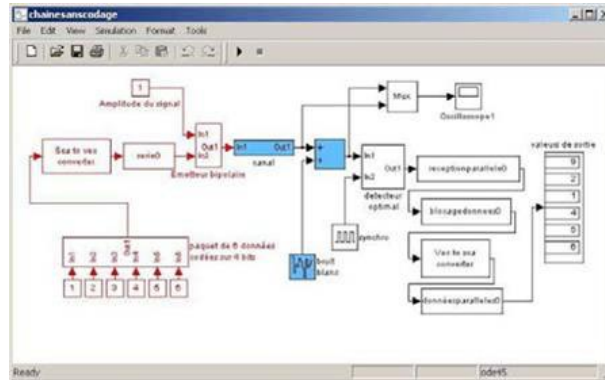
Contrairement aux simulateurs hors temps-réel, le temps que dure une simulation est rigoureusement le « temps-réel » physique. Pour synchroniser les données échangées avec l'équipement testé, le pas de temps de simulation de ces simulateurs est fixe et ne peut pas évoluer dans le temps.



Principe du pas constant

3.2. Simulateurs en temps-réel numériques

La simulation en **temps réel analogique ou numérique** peut être utilisée de **trois** façons différentes :

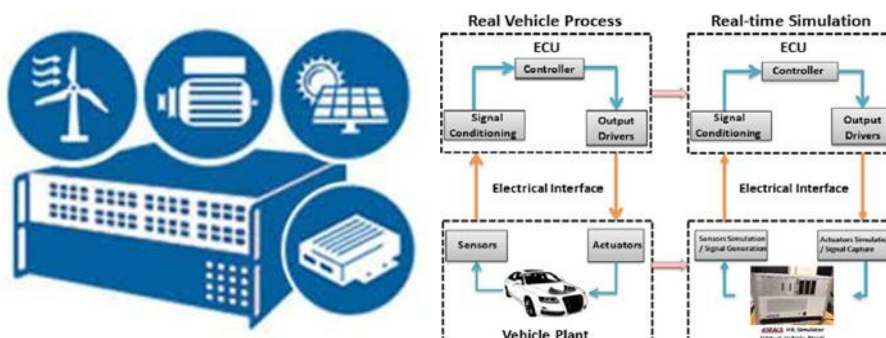


- Interfaçage de la simulation avec un modèle physique réel.
- Interfaçage de la commande réelle avec le système simulé.
- Simple simulation.

Un simulateur temps-réel dédié à la simulation de réseaux électriques peut être amené à tester des équipements tels que.

- Les systèmes électriques de puissance
- Les systèmes de contrôle de dispositifs à base d'électronique de puissance : FACTS et contrôleurs de systèmes d'interfaçage de producteurs d'énergie (systèmes éoliens, photovoltaïque, etc).

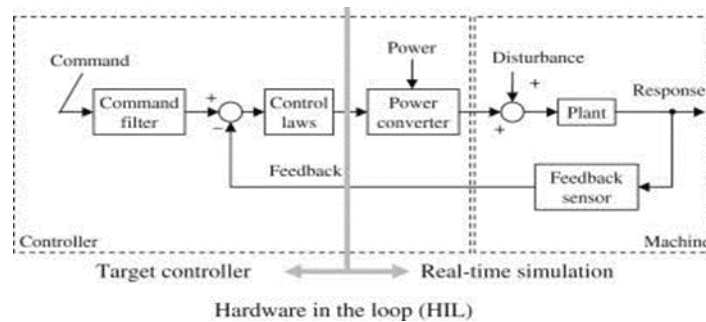
Parmi les simulateurs numériques temps-réel utilisés dans le monde on trouve :



4. RT-LAB (Opal-RT Technologies, Canada)



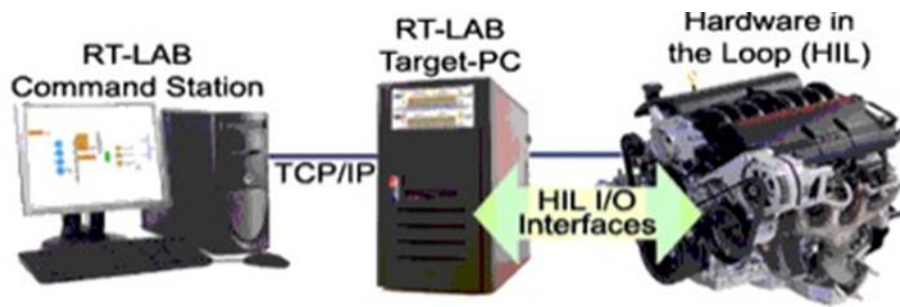
- RT-LAB est une technologie temps réel qui facilite le dimensionnement basé sur la modélisation. Il est extensible, utilisable pour de nombreuses applications, que ce soit pour la simulation rapide (RCP), la simulation avec du Hardware in the Loop (HIL) et la simulation Power Hardware in the Loop (PHIL).
- RT-LAB permet de convertir des modèles Simulink ou System Build en temps réel via Real-Time Workshop (RTW) et de les exécuter en temps réel sur un ou plusieurs processeurs.
- Ce procédé est particulièrement utile pour la simulation en HIL



4.1. La plateforme RT-LAB

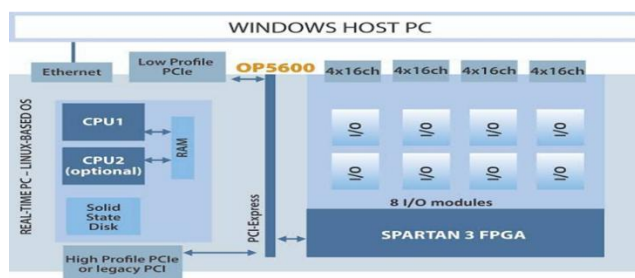
OPAL-RT est une entreprise canadienne qui a développé le simulateur temps réel RT-LAB.





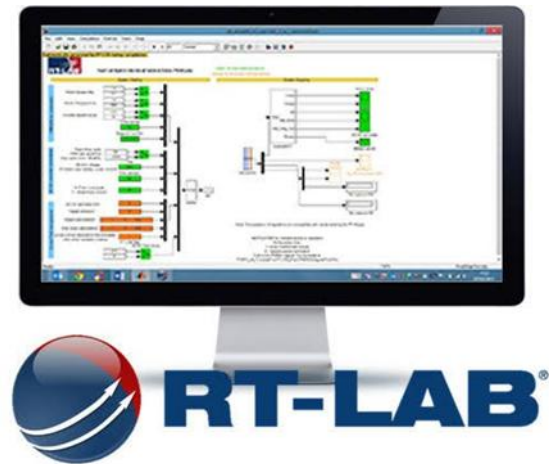
Simulateur OPAL-RT avec du Hardware in the Loop (HIL)

RT-LAB régit la synchronisation, les interactions avec l'utilisateur, l'interfaçage avec le matériel à l'aide de cartes entrée-sorties et les échanges de données.



Un PC exécute la simulation de l'équipement ou de la logique de contrôle.

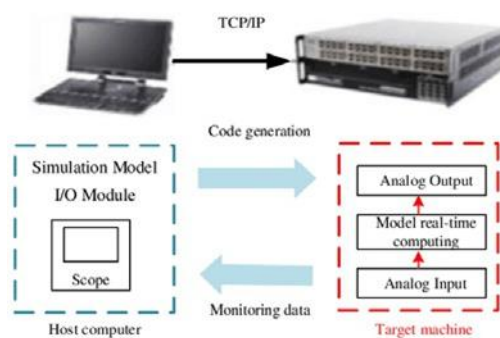
La cible peut fonctionner sous QNX ou Redhat Linux pour les applications nécessitant une simulation temps réel ou très rapide ou sous Windows comme accélérateur de simulation.



Est un système totalement intégré qui s'encarte à un niveau au-dessus d'outils tel Simulink™ pour simuler des modèles en temps réel ainsi que de tester des contrôleurs en incluant le système physique dans la boucle de commande HIL.

Avec cette plateforme, il est possible de faire toutes les étapes de conception des systèmes de contrôle. On débute par la simulation en temps réel du modèle du contrôleur bouclé avec le modèle du système physique pour ensuite remplacer le modèle du système physique par le système réel et tester le fonctionnement du contrôleur en temps réel et finir avec l'implantation du contrôleur dans un DSP ou une FPGA.

Il se divise en trois parties qui sont:



- **La visualisation de modèles.**
- **La séparation des modèles et la génération de codes**
- **L'exécution parallèle en temps réel avec le matériel dans la boucle HIL.**

4.2. Fonctionnement de RT-LAB

Le principe de fonctionnement du simulateur RT-LAB est très simple. Le modèle Simulink™/SPS est intégré à l'environnement de RT-LAB en seulement trois étapes simples :

a. Regroupement du modèle Simulink en sous-systèmes

Dans cette étape, divers systèmes sont regroupés et seront exécutés sur différents nœuds de calcul. En effet, chaque sous-système de Simulink doit posséder un nom

- **SC_ : sous-système console**

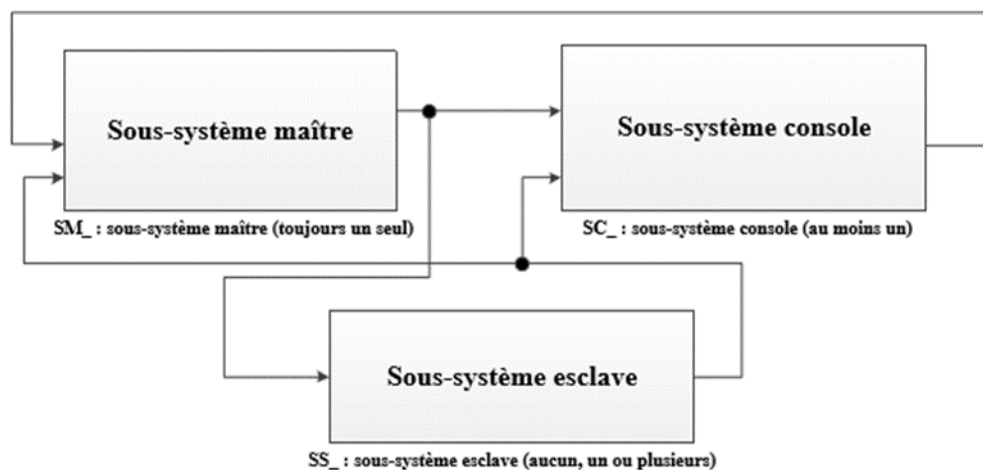
(Au moins un) Contient tous les blocs de l'interface utilisateur (scope, gains, switch) : Il sera exécuté de manière asynchrone avec les autres blocs.

- **SM_ : sous-système maître**

(Toujours un seul) Contient les éléments de calcul du modèle

- **SS_ : sous-système maître SS**

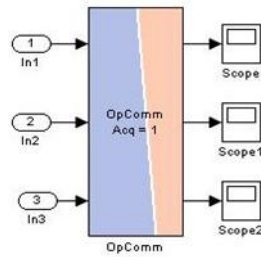
(Aucun, un ou plusieurs) Contient des éléments de calcul du modèle lorsqu'il est exécuté sur plusieurs processeurs.



b. Insertion des blocs de communication « OpComm»

Ces blocs permettent d'activer et de sauvegarder les informations de la communication entre la station de commande et les nœuds de calcul ainsi qu'entre les différents nœuds de calcul d'une simulation distribuée.

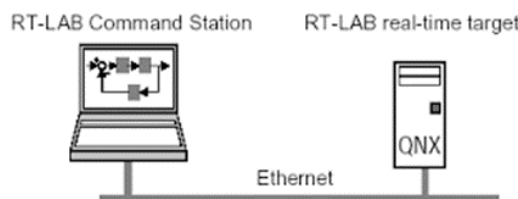
Ainsi, toutes les entrées des sous-systèmes principaux doivent passer à travers un OpComm avant d'être utilisées.





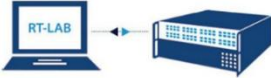
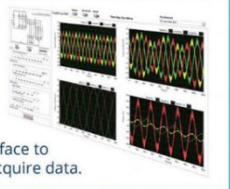
c. L'exécution du modèle sous RT-LAB

À la suite de ces trois étapes, le modèle Simulink peut être intégré au simulateur RTLAB qui compile le modèle et génère le code « C » en vue de l'exécution en temps réel.

À l'aide d'interfaces entrées/sorties, le simulateur distribue les sous-systèmes sur les cibles parallèles correspondantes et exécute la simulation en temps réel.



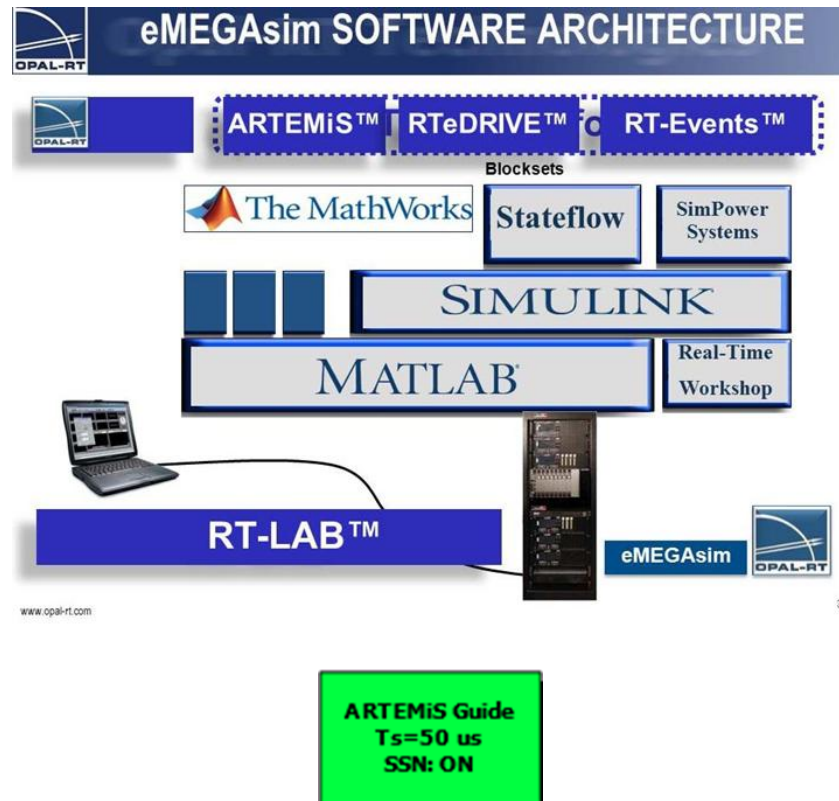
d. L'exécution du modèle sous RT-LAB

<p>Edit</p> <p>1</p>  <p>Open your Simulink™ model directly via RT-LAB.</p>	<p>Compile</p> <p>2</p>  <p>Transform your Simulink™ model into a real-time application.</p>
<p>Execute</p> <p>3</p>  <p>Run the simulation on your real-time target using multiple cores.</p>	<p>Interact</p> <p>4</p>  <p>Use the graphical interface to change controls and acquire data.</p>

4.3. ARTEMIS « Advanced Real Time Electr

Est un outil qui s'intègre au blocks et SimPowerSystem de Simulink. Il fournit des algorithmes améliorés permettant la simulation en temps réel des systèmes utilisant les blocs de

SimPowerSystems. ARTEMIS est conçu pour prendre en charge l'implémentation temps réel de simulations de systèmes électriques généraux contenant des redresseurs et des onduleurs, ce qui améliore considérablement la vitesse de simulation tout en préservant la précision.



Bloc de contrôle ARTEMIS Guide

Il s'agit de l'unique façon d'obtenir des performances temps réel strictes de haute précision avec les modèles de Sim Power System.

RT-EVENTS

RT-EVENTS est un ensemble additionnel de blocs qui fonctionnent avec MATLAB et Simulink pour améliorer l'efficacité et la précision des simulations des systèmes à temps discrets dont la dynamique varie par la suite d'événements discrets.

Cet aspect est très important lorsque le système simulé exige un pas de temps qui ne peut pas être utilisé pour la simulation en temps réel à cause des limitations «hardware » des processeurs commerciaux actuels. RT- EVENTS

- Il permet de compenser les erreurs introduites lorsque des événements se produisent entre les pas de calcul.

- utilise un algorithme à pas fixe, il n'effectue pas d'itération ce qui améliore la vitesse de simulation des systèmes.
- Cette vitesse de simulation est supérieure au système utilisant des algorithmes à pas variable.