



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF M'SILA**



**Module : Simulation des composants semiconducteurs**

---

# **MODÈLES ET MODÉLISATION : GÉNÉRALITÉS**

---

**En vue d'un enseignement hybride au profit des étudiants  
de 2<sup>ème</sup> année Master, Spécialité : Microélectronique**

**Responsable du module: Dr. Moufdi HADJAB**

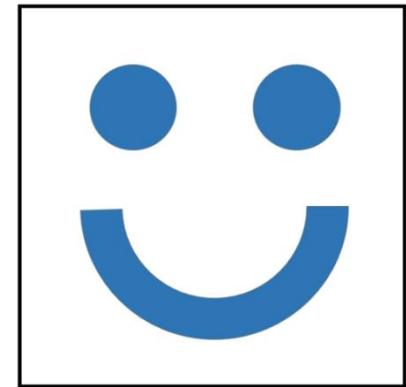
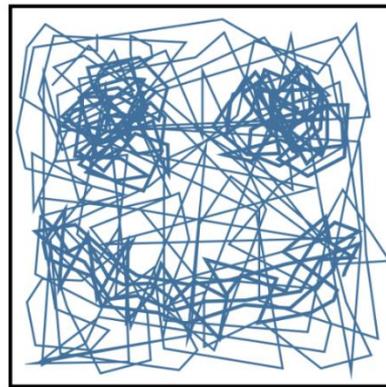
**Année universitaire: 2024/2025**

# PLAN DE COURS

---



Qu'est ce que ça veut dire le mot:  
« Modéliser » ?  
« Modélisation » : qu'est-ce que c'est ?



# MODÉLISATION ET SIMULATION DES CIRCUITS ANALOGIQUES ET MIXTES

## 1. CONTEXTE ET DÉFINITIONS

### 1.1 Définition de modèle

- ❑ Un **modèle** est une représentation simplifiée d'un système ou d'un objet réel.
- ❑ Il est conçu pour **simuler**, **expliquer**, **prévoir** ou **comprendre** des comportements ou des phénomènes spécifiques.
- ❑ Un **modèle** peut prendre de nombreuses formes, y compris mathématique, physique, conceptuelle ou informatique.
- ❑ L'idée principale est qu'il capture les caractéristiques essentielles ou les comportements du système ou de l'objet qu'il représente, tout en laissant de côté les détails non essentiels pour l'objectif spécifique pour lequel le modèle est utilisé.

❑ النموذج هو تمثيل مبسط لنظام أو كائن حقيقي. وهو مصمم لمحاكاة أو شرح أو التنبؤ أو فهم سلوكيات أو ظواهر معينة.

❑ يمكن أن يتخذ النموذج أشكالاً عديدة، بما في ذلك الأشكال الرياضية أو الفيزيائية أو المفاهيمية أو الحسابية.

❑ الفكرة الرئيسية هي أنه يلتقط الخصائص أو السلوكيات الأساسية للنظام أو الكائن الذي يمثله، مع ترك التفاصيل التي ليست ضرورية للغرض المحدد الذي يستخدم النموذج من أجله.

## 1.2 Définition de la modélisation

- ❑ La **modélisation** est le processus de création, d'analyse et d'interprétation d'un modèle.
- ❑ Elle englobe toutes les étapes allant de la définition des hypothèses initiales, à la construction du **modèle**, à sa **validation** et à son utilisation pour des **prédictions** ou des **simulations**.
- ❑ La modélisation consiste à trouver une loi mathématique représentative du comportement d'un système et la vérification de la vraisemblance de cette loi se fait par comparaison avec données de référence. Ces données de référence proviennent de mesures avant tout, et parfois de simulations réalisées à partir de modèles déjà validés.
- ❑ Elle permet aux chercheurs et aux professionnels de **tester des scénarios**, de **comprendre des phénomènes complexes** et de **prendre des décisions éclairées** sans avoir à expérimenter directement avec le système ou l'objet réel.

# MODÉLISATION ET SIMULATION DES CIRCUITS ANALOGIQUES ET MIXTES

- النمذجة هي عملية إنشاء النموذج وتحليله وتفسيره.
- وتشمل جميع المراحل بدءاً من تعريف الفرضيات الأولية وحتى بناء النموذج والتحقق من صحته واستخدامه للتنبؤات أو المحاكاة.
- تتكون النمذجة من إيجاد قانون رياضي يمثل سلوك النظام والتحقق من احتمالية وجود هذا القانون عن طريق المقارنة مع البيانات المرجعية. تأتي هذه البيانات المرجعية في المقام الأول من القياسات، وأحياناً من عمليات المحاكاة التي يتم إجراؤها باستخدام نماذج تم التحقق من صحتها بالفعل
- فهي تسمح للباحثين والمهنيين باختبار السيناريوهات وفهم الظواهر المعقدة واتخاذ قرارات مستنيرة دون الحاجة إلى تجربة النظام أو الكائن الحقيقي بشكل مباشر.

## 1.3 Critères de qualité d'un modèle

- ❑ Les principaux critères de qualité d'un modèle sont:
  - ❑ **La précision** : elle caractérise la capacité du modèle à couvrir un grand nombre de contextes d'utilisation ; plus le modèle est précis, plus le nombre d'équations et de paramètres est important.
  - ❑ **La rapidité d'exécution** : elle dépend de la technique d'implémentation des équations, du simulateur et de la précision aussi.

❑ معايير الجودة الرئيسية للنموذج هي:

❑ **الدقة** : وهي تميز قدرة النموذج على تغطية عدد كبير من سياقات الاستخدام؛ كلما كان النموذج أكثر دقة، كلما زاد عدد المعادلات والمعلومات.

❑ **سرعة التنفيذ** : تعتمد على تقنية تنفيذ المعادلات والمحاكي والدقة أيضاً.

# MODÉLISATION ET SIMULATION DES CIRCUITS ANALOGIQUES ET MIXTES

## 1.3 Critères de qualité d'un modèle

- ❑ Le **développement d'un modèle** peut se décomposer en plusieurs étapes: on appellera **méthode de modélisation** l'étape qui cherche un jeu d'équations descriptives du comportement d'un circuit ; ces équations étant connues, on appellera plutôt **technique de modélisation** l'étape consistant à implémenter ce jeu d'équations dans un style donné voire un langage.
- ❑ La technique de modélisation dépend fortement du type de comportement observé (continu, discret, logique) mais également du niveau hiérarchique auquel on se place pour observer un système.

❑ **تطوير النموذج** يمكن تقسيمه إلى عدة مراحل: سنسمي **طريقة النمذجة** المرحلة التي تبحث عن مجموعة من المعادلات التي تصف سلوك الدائرة؛ وبما أن هذه المعادلات معروفة، فإننا نسمي **تقنية النمذجة** الخطوة التي تتكون من تنفيذ هذه المجموعة من المعادلات بأسلوب معين أو حتى بلغة معينة.

❑ تعتمد تقنية النمذجة أكثر على نوع السلوك الملاحظ (مستمر، متقطع، منطقي) ولكن أيضاً على المستوى الهرمي الذي نضع أنفسنا فيه لمراقبة النظام.

## 2. Simulation électronique

- ❑ Un des outils majeurs actuels qui permet la conception de nouveaux systèmes électroniques, ainsi que l'étude de systèmes existants, est la **simulation électronique**.
- ❑ La simulation des circuits, des composants et même des dispositifs, est désormais aisée à effectuer en utilisant des logiciels qui ont été spécialement développés pour cela.
- ❑ La **simulation électronique** est un processus utilisé par les ingénieurs/chercheurs électroniques pour tester et vérifier des conceptions de ces circuits/Composants/dispositifs électroniques avant leur réalisation physique.
- ❑ Au lieu de construire un circuit réel avec des composants physiques (ce qui peut être coûteux en temps et en ressources), les concepteurs utilisent des **logiciels de simulation** pour modéliser le comportement du circuit dans diverses conditions.

## 2. المحاكاة الإلكترونية

- واحدة من الأدوات الرئيسية الحالية التي تسمح بتصميم الأنظمة الإلكترونية الجديدة، وكذلك دراسة الأنظمة الحالية، هي المحاكاة الإلكترونية.
- أصبح الآن من السهل تنفيذ محاكاة الدوائر و المركبات وحتى الأجهزة باستخدام البرامج التي تم تطويرها خصيصاً لهذا الغرض.
- المحاكاة الإلكترونية هي عملية يستخدمها المهندسون/الباحثون الإلكترونيون لاختبار والتحقق من تصميمات هذه الدوائر/المكونات/الأجهزة الإلكترونية قبل تنفيذها فعلياً.
- بدلاً من بناء (دائرة/مركب/جهاز) فعلية بمكونات مادية (والتي يمكن أن تكون مكلفة من حيث الوقت والموارد)، يستخدم المطورون برامج محاكاة لنمذجة سلوك الدائرة في ظل ظروف مختلفة.

## 2.1 Avantages de la simulation électronique

- ❑ **Réduction des coûts** : Les erreurs peuvent être identifiées et corrigées avant la fabrication physique.
- ❑ **Gain de temps** : Permet d'évaluer rapidement de nombreuses variations d'une conception.
- ❑ **Flexibilité** : Les conditions de test (comme la température, le voltage, la fréquence) peuvent être facilement modifiées.
- ❑ **خفض التكلفة**: يمكن تحديد الأخطاء وتصحيحها قبل التصنيع الفعلي.
- ❑ **توفير الوقت**: يسمح لك بتقييم العديد من الأشكال المختلفة للتصميم بسرعة.
- ❑ **المرونة**: يمكن بسهولة تغيير ظروف الاختبار (مثل درجة الحرارة والجهد والتردد).

**Outils populaires:** SILVACO, Proteus, PSPICE, Multisim, PC1D, AMPS, ...

**En résumé:** La **simulation électronique** est un outil essentiel dans le domaine de l'électronique, car elle permet aux concepteurs de tester et d'optimiser leurs conceptions avant la fabrication. Cela peut aider à économiser du temps et de l'argent, tout en réduisant le risque d'erreurs dans les produits finis.

## 3. Description de la conception hiérarchique

- ❑ Récemment, en raison de l'hétérogénéité et de la grande complexité des systèmes intégrés sur une puce, la hiérarchisation de la conception s'avère nécessaire.
- ❑ Autrement dit, le concepteur commence par concevoir et valider un système à l'aide de blocs fonctionnels, puis il descend progressivement dans le détail des blocs, jusqu'à la conception de circuits élémentaires au niveau transistor ou portes logiques.

- ❑ في الآونة الأخيرة، نظراً لعدم التجانس والتعقيد العالي للأنظمة المدمجة في الشريحة، أصبح تحديد أولويات التصميم ضرورياً.
- ❑ بمعنى آخر، يبدأ المصمم بالتصميم والتحقق من صحة نظام باستخدام الكتل الوظيفية، ثم ينزل تدريجياً إلى تفاصيل الكتل، حتى تصميم الدوائر الأولية على مستوى الترانزستور أو البوابة المنطقية.

## 3. Description de la conception hiérarchique

- ❑ Lors de la **conception d'un système**, le **problème initial** étant la **traduction du cahier des charges** en un **circuit intégré fonctionnel**.
- ❑ Cette approche revient à décomposer le problème en des sous-problèmes et donnant lieu à plusieurs niveaux hiérarchiques.
- ❑ On distingue deux modes de conception d'un système correspondant aux deux sens de parcours de l'hiérarchie :
  - ❑ **la conception en mode descendant (Top-Down)**
  - ❑ **et la conception en mode ascendant (Bottom- Up).**
- ❑ Chaque niveau hiérarchique est caractérisé par un ensemble d'entités permettant de décrire la topologie du système.

- ❑ عند تصميم نظام، المشكلة الأولية هي ترجمة المواصفات إلى دائرة متكاملة وظيفية. هذا الأسلوب يعود إلى تقسيم المشكلة إلى مشكلات فرعية، مما يؤدي إلى عدة مستويات هرمية.
- ❑ يميز بين نمطين من تصميم النظام يتناسبان مع الاتجاهين للنهج الهرمي:
  - ❑ تصميم بالطريقة التنازلية (Top-Down)
  - ❑ وتصميم بالطريقة التصاعدية (Bottom-Up)
- ❑ يتميز كل مستوى هرمي بمجموعة من الكيانات المستخدمة لوصف طوبولوجيا النظام.

# MODÉLISATION ET SIMULATION DES CIRCUITS ANALOGIQUES ET MIXTES

## 3. Description de la conception hiérarchique

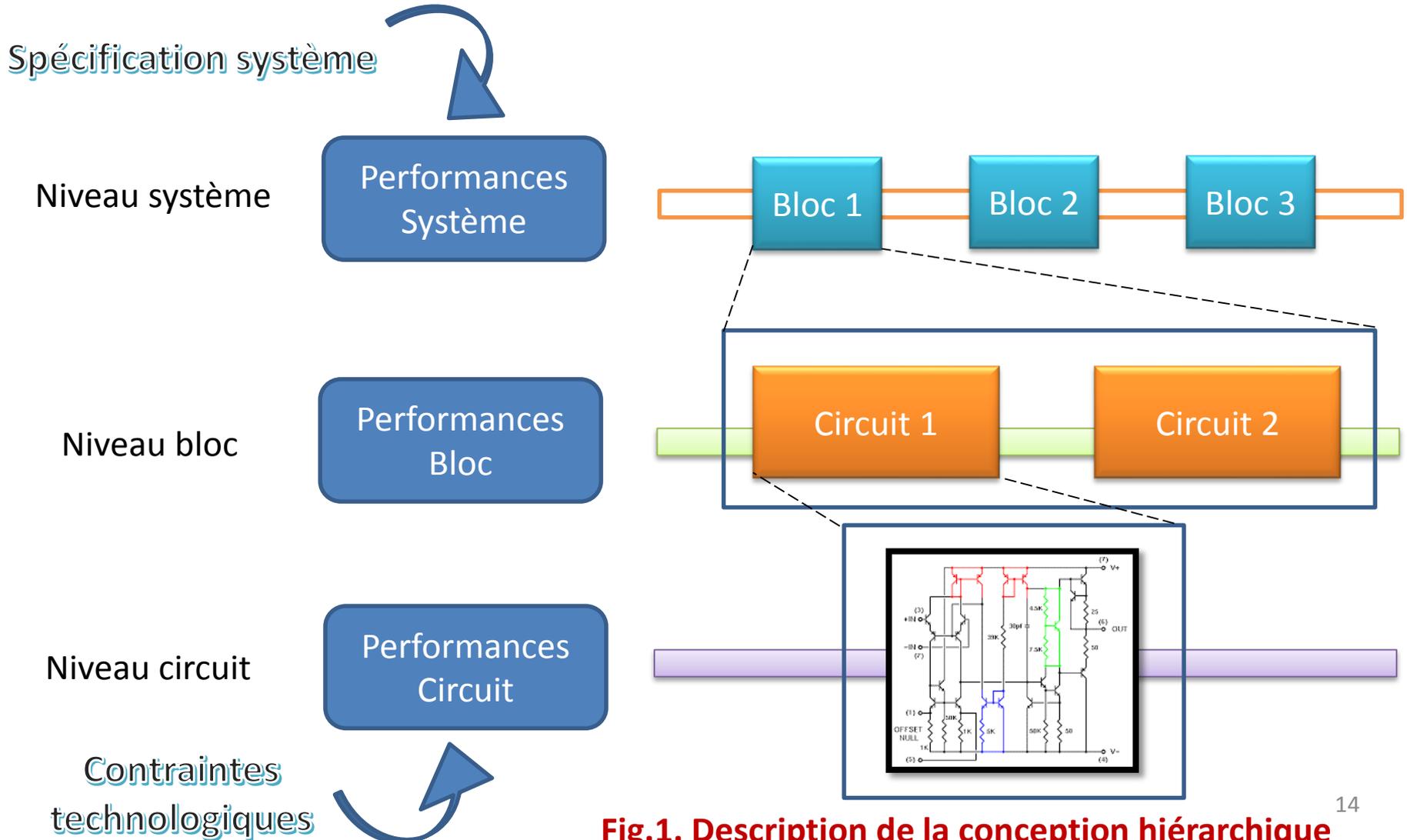


Fig.1. Description de la conception hiérarchique

## 3. Description de la conception hiérarchique

- ❑ La fig. 1 présente une description générale de la conception hiérarchique en mode descendant. Dans ce cas, le système est décomposé en trois niveaux hiérarchiques :
  - ❑ **Niveau système** : la topologie du système est décrite au moyen de blocs fonctionnels.
  - ❑ **Niveau bloc** : les primitives de chaque bloc sont des circuits.
  - ❑ **Niveau circuit** : les primitives à ce niveau sont des composants électroniques de base (transistors, diodes, résistances,...).
- ❑ La conception hiérarchique est contrainte au plus haut niveau par les spécifications système ainsi qu'au plus bas niveau par les contraintes technologiques.
- ❑ Les **spécifications système** sont les données du client fixant les performances du système, tandis que les **contraintes technologiques** imposent les marges de conception.

## 3. وصف التصميم الهرمي

- يعرض الشكل 1 وصفاً عاماً للتصميم الهرمي من أعلى إلى أسفل.
- في هذه الحالة، يتم تقسيم النظام إلى ثلاثة مستويات هرمية:
  - مستوى النظام: يتم وصف طوبولوجيا النظام باستخدام الكتل الوظيفية.
  - مستوى الكتلة: البدائيات لكل كتلة هي الدوائر.
  - مستوى الدائرة: البدائيات في هذا المستوى هي المكونات الإلكترونية الأساسية (الترانزستورات، الثنائيات، المقاومات، الخ).
- ❖ التصميم الهرمي مقيد على أعلى مستوى بمواصفات النظام وكذلك على أدنى مستوى بالقيود التكنولوجية.
- ❖ مواصفات النظام هي أداء نظام إعداد بيانات العميل، في حين أن القيود التكنولوجية تملئ هوامش التصميم.



---

*Y a-t-il des questions !*

---