



CentraleSupélec

université  
PARIS-SACLAY



CentraleSupélec

# ST5 - MODÉLISATION FONCTIONNELLE ET RÉGULATION

## SYSTÈMES COMPLEXES ET CRITIQUES À LOGICIELS PRÉPONDÉRANTS

🎓 2A cursus Ingénieurs

🏛️ CentraleSupélec

📅 2023/2024



**Idir AIT SADOUNE**  
[idir.aitsadoune@centralesupelec.fr](mailto:idir.aitsadoune@centralesupelec.fr)

# IDIR AIT SADOUNE



# IDIR AIT SADOUNE

- Docteur en Informatique diplômé par l'ENSMA en 2010.



# IDIR AIT SADOUNE

- Docteur en Informatique diplômé par l'ENSMA en 2010.
  - Thèse sur la modélisation et la vérification des services par une approche basée sur le raffinement et sur la preuve.





# IDIR AIT SADOUNE

- **Docteur en Informatique** diplômé par l'**ENSMA** en **2010**.
  - Thèse sur la modélisation et la vérification des services par une approche basée sur le raffinement et sur la preuve.
- **Enseignant-chercheur** au sein du département informatique de **CentraleSupélec**.



# IDIR AIT SADOUNE

- **Docteur en Informatique** diplômé par l'**ENSMA** en **2010**.
  - Thèse sur la modélisation et la vérification des services par une approche basée sur le raffinement et sur la preuve.
- **Enseignant-chercheur** au sein du département informatique de **CentraleSupélec**.
- **Chercheur** au sein des pôles **Modèles et Preuve** du **LMF - Laboratoire Méthodes Formelles**.

# DISCUSSION AUTOURS DES ATTENTES DES ÉLÈVES



# PLAN

- La présentation de la ST
- Contexte et Enjeux
- Présentation du cours spécifique
- Enseignement d'intégration
- Validation de la ST
- Pour aller plus loin

[Retour au plan](#) - [Retour à l'accueil](#)

# PLAN

- La présentation de la ST
- Contexte et Enjeux
- Présentation du cours spécifique
- Enseignement d'intégration
- Validation de la ST
- Pour aller plus loin

[Retour au plan](#) - [Retour à l'accueil](#)

# **LES RESPONSABLES DE LA ST**

# LES RESPONSABLES DE LA ST



**Marc AIGUIER**

[marc.aiguier@centralesupelec.fr](mailto:marc.aiguier@centralesupelec.fr)

# LES RESPONSABLES DE LA ST



**Marc AIGUIER**  
[marc.aiguier@centralesupelec.fr](mailto:marc.aiguier@centralesupelec.fr)



**Idir AIT SADOUNE**  
[idir.aitsadoune@centralesupelec.fr](mailto:idir.aitsadoune@centralesupelec.fr)

# LES RESPONSABLES DE LA ST



**Marc AIGUIER**  
[marc.aiguier@centralesupelec.fr](mailto:marc.aiguier@centralesupelec.fr)



**Idir AIT SADOUNE**  
[idir.aitsadoune@centralesupelec.fr](mailto:idir.aitsadoune@centralesupelec.fr)



**Paolo BALLARINI**  
[palolo.ballarini@centralesupelec.fr](mailto:palolo.ballarini@centralesupelec.fr)

# LES RESPONSABLES DE LA ST



**Marc AIGUIER**  
[marc.aiguier@centralesupelec.fr](mailto:marc.aiguier@centralesupelec.fr)



**Idir AIT SADOUNE**  
[idir.aitsadoune@centralesupelec.fr](mailto:idir.aitsadoune@centralesupelec.fr)

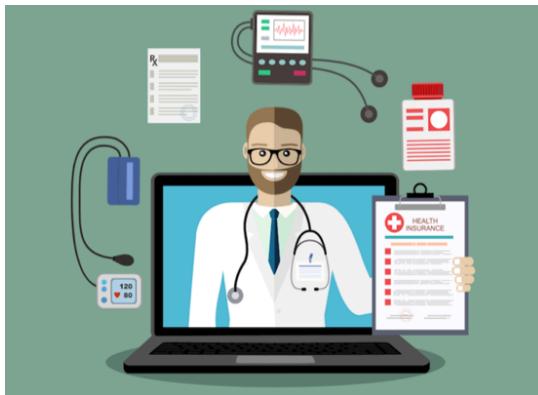


**Paolo BALLARINI**  
[palolo.ballarini@centralesupelec.fr](mailto:palolo.ballarini@centralesupelec.fr)



**Lina YE**  
[lina.ye@centralesupelec.fr](mailto:lina.ye@centralesupelec.fr)

# LE LOGICIEL INFORMATIQUE

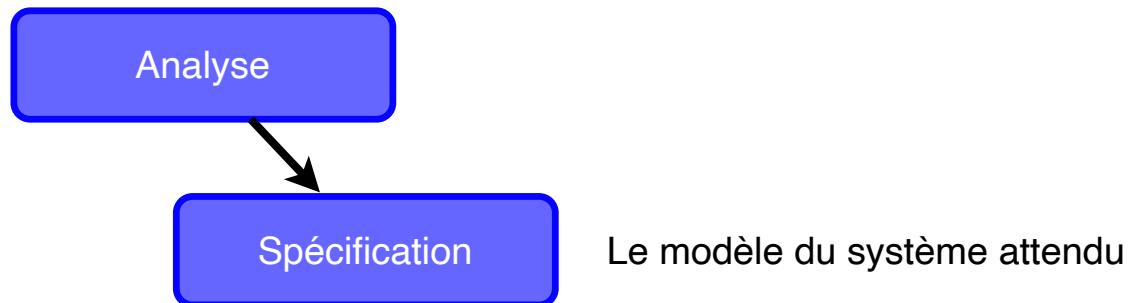


# CYCLE DE DÉVELOPPEMENT

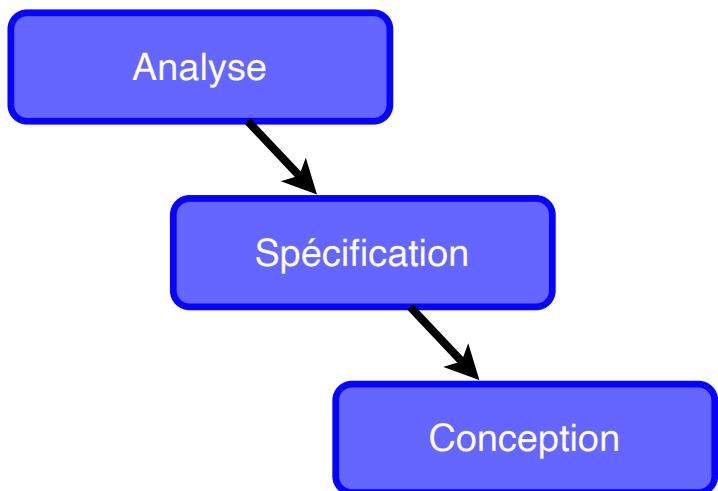
# CYCLE DE DÉVELOPPEMENT

Analyse

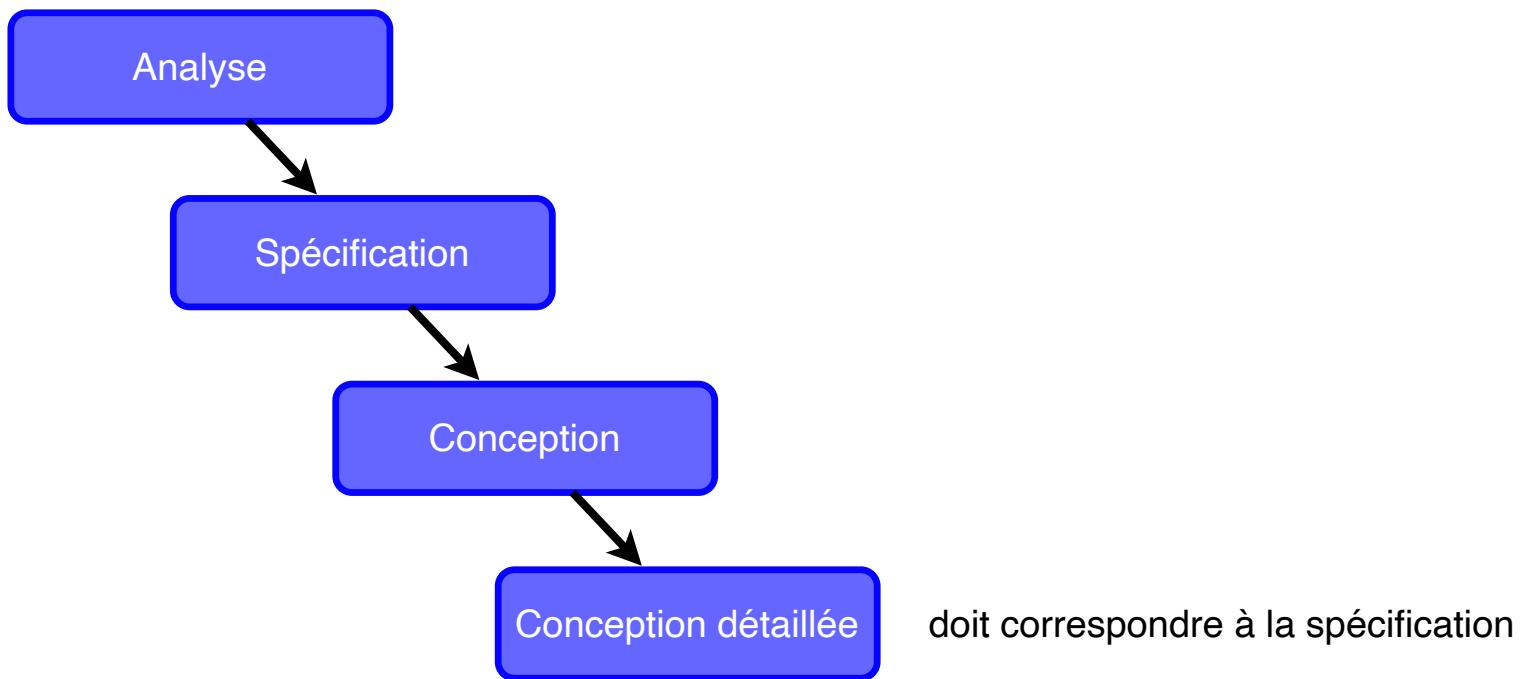
# CYCLE DE DÉVELOPPEMENT



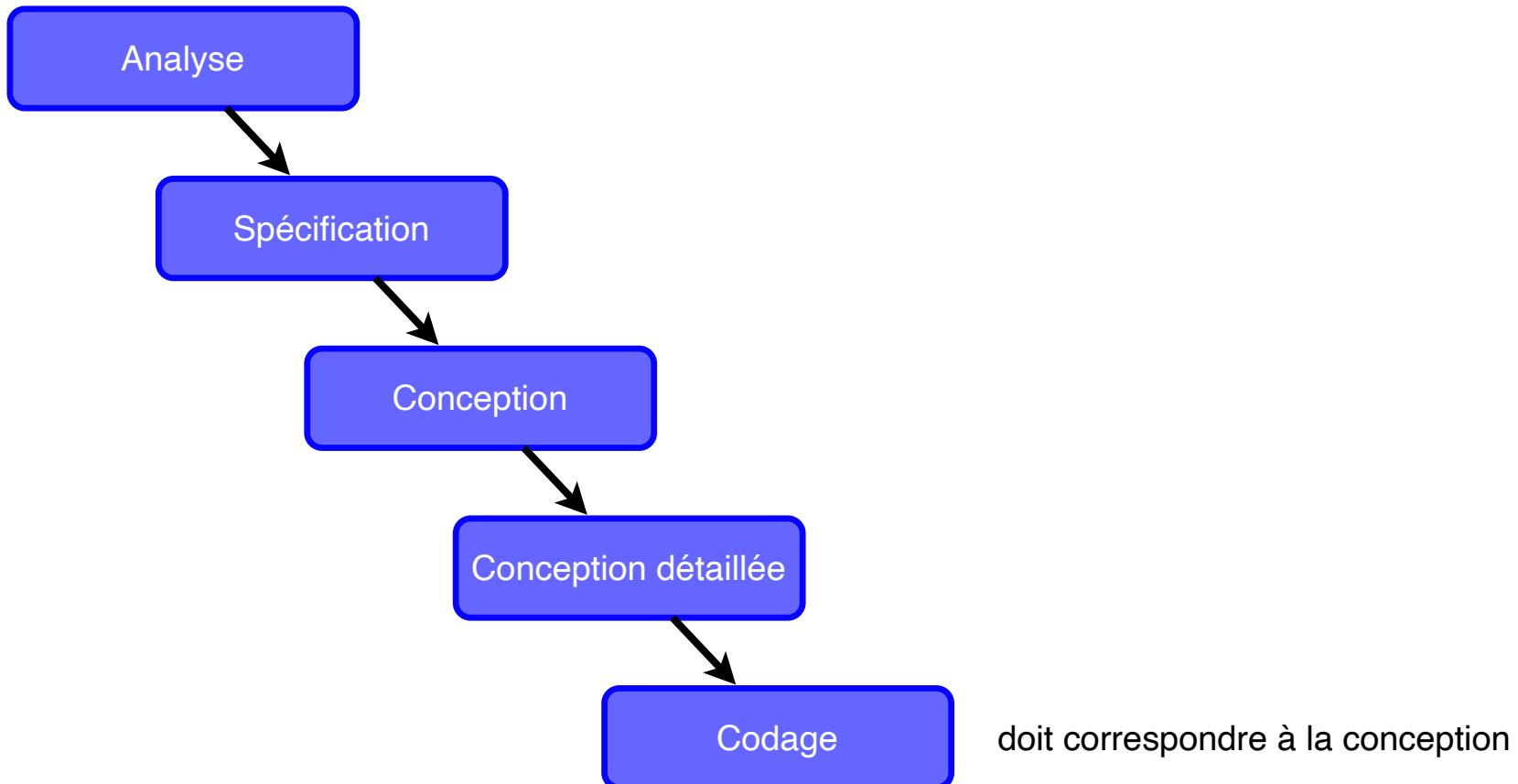
# CYCLE DE DÉVELOPPEMENT



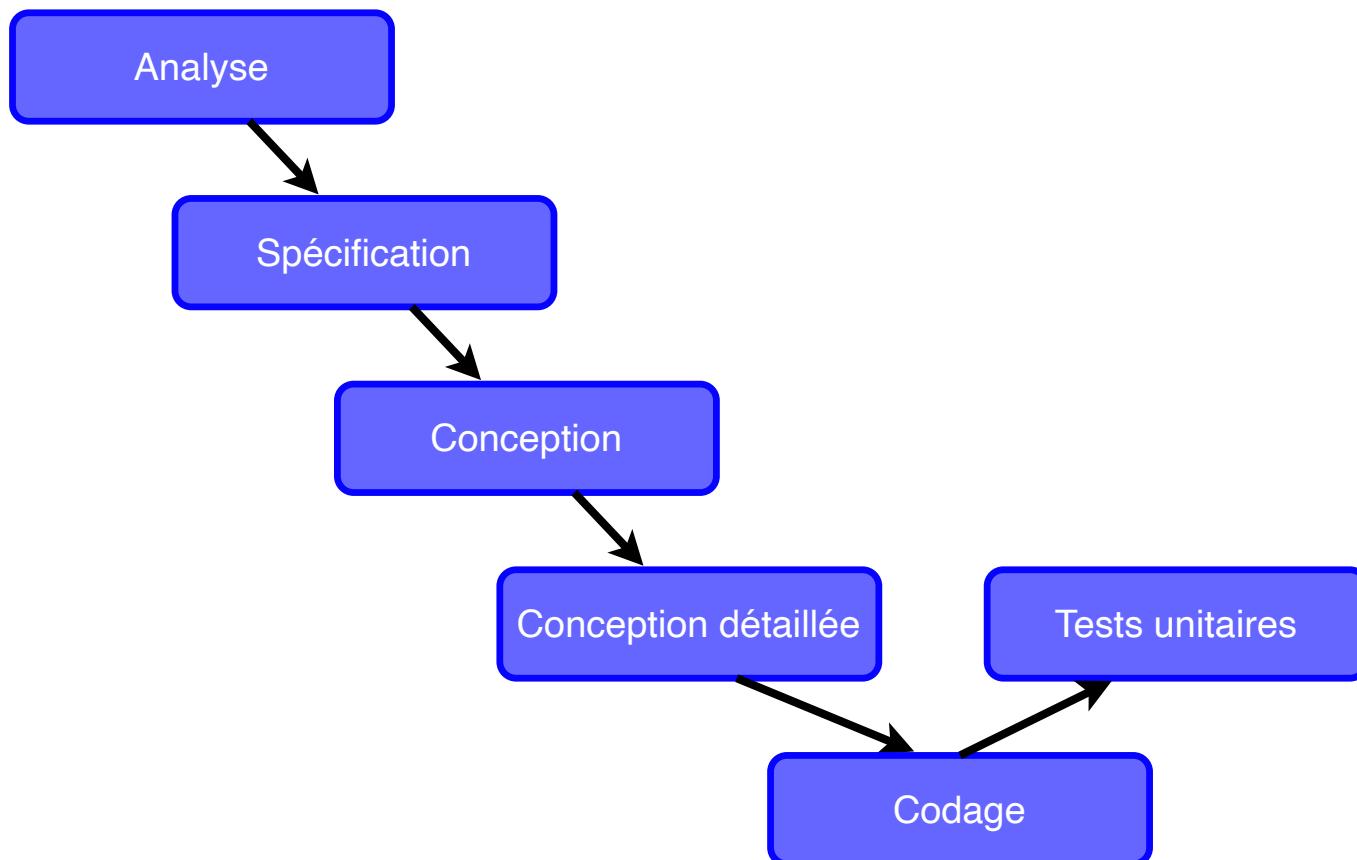
# CYCLE DE DÉVELOPPEMENT



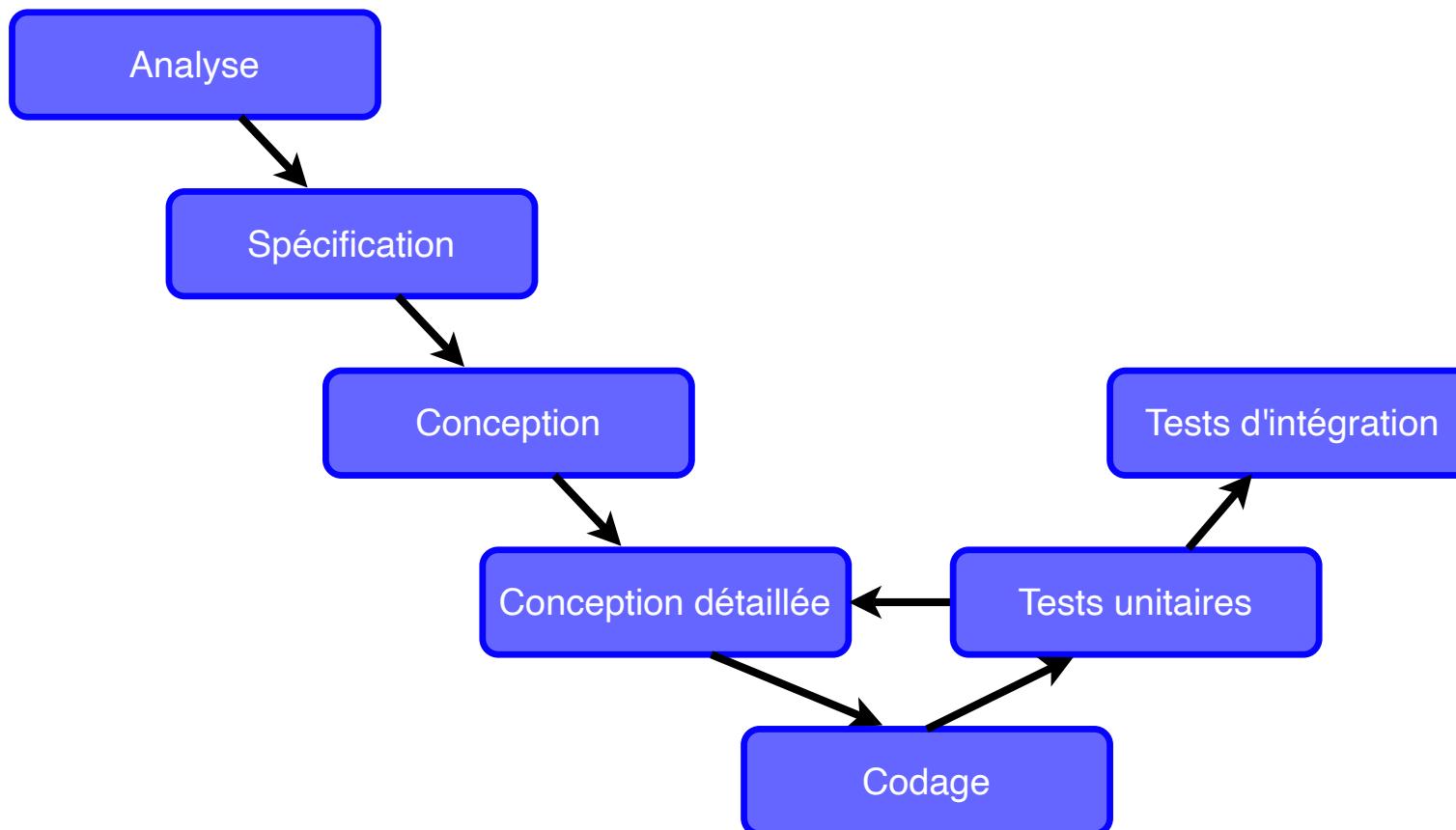
# CYCLE DE DÉVELOPPEMENT



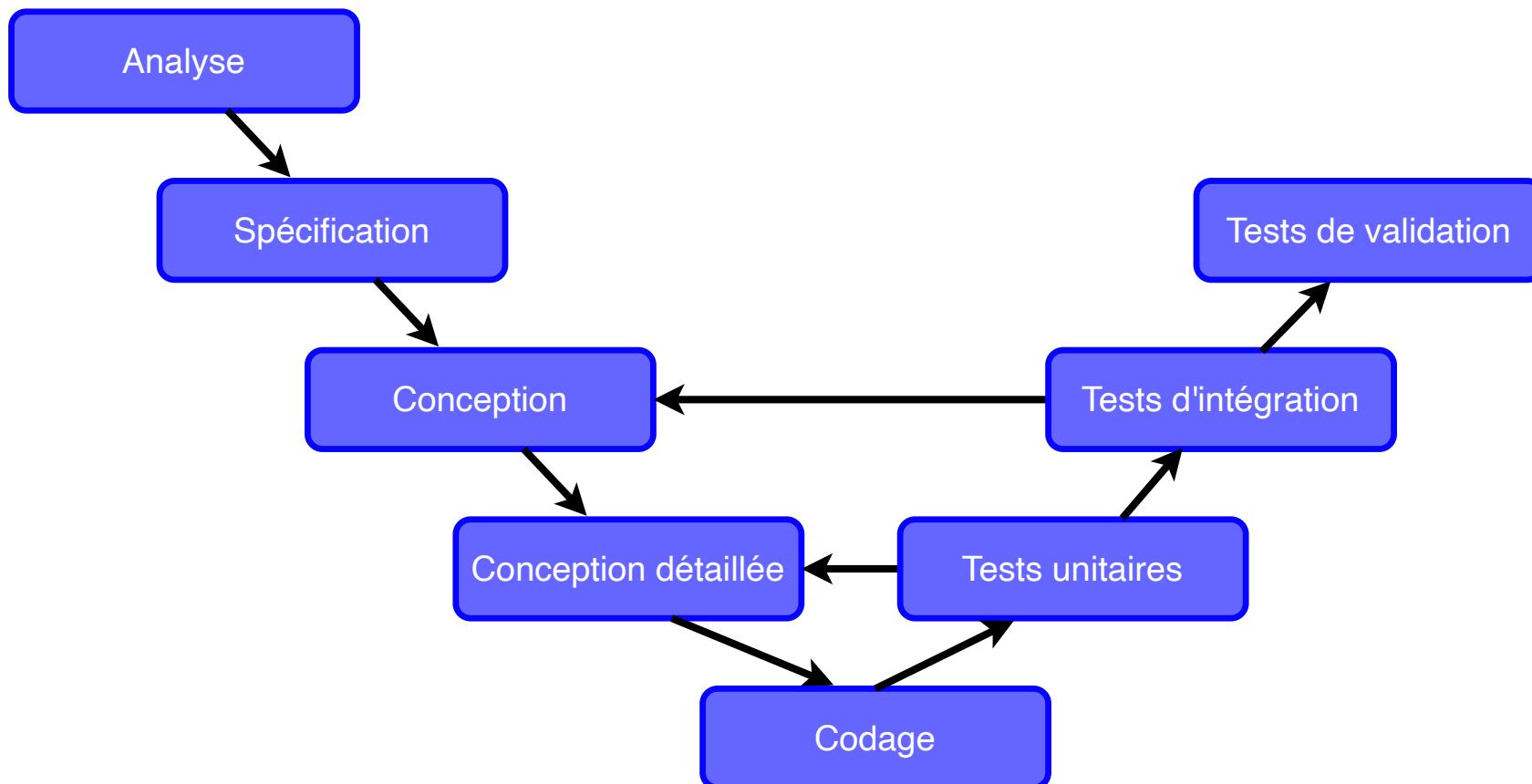
# CYCLE DE DÉVELOPPEMENT



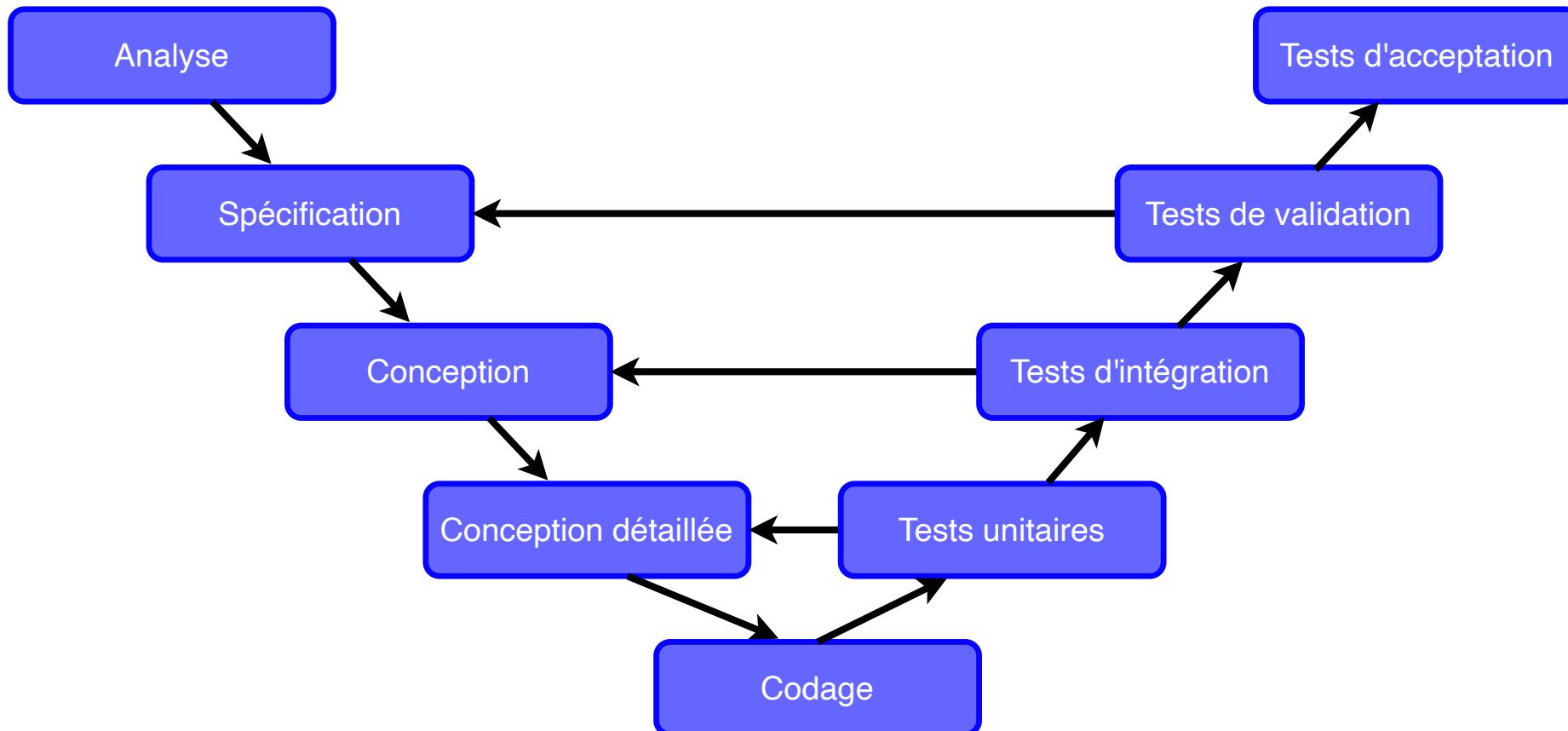
# CYCLE DE DÉVELOPPEMENT



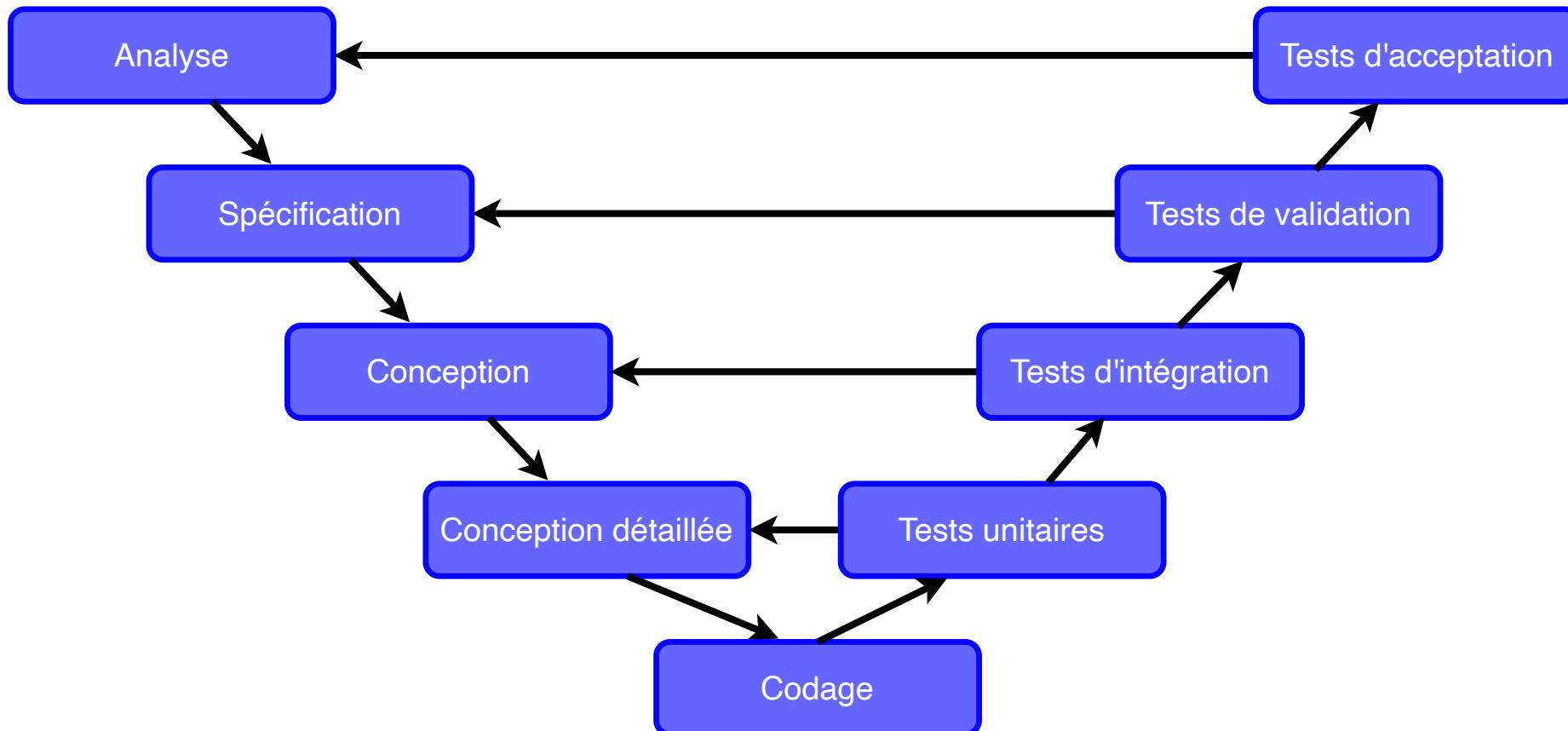
# CYCLE DE DÉVELOPPEMENT



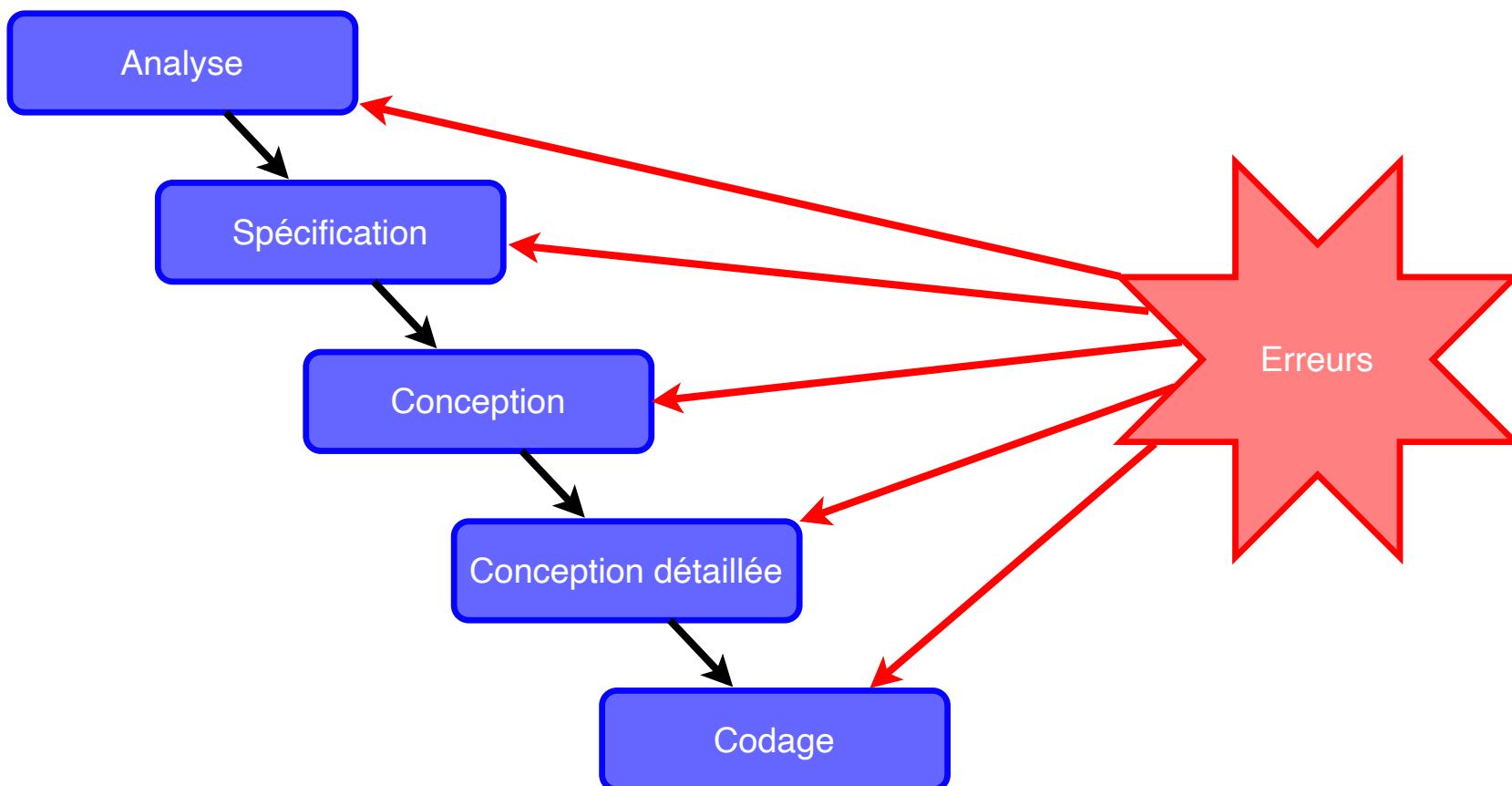
# CYCLE DE DÉVELOPPEMENT



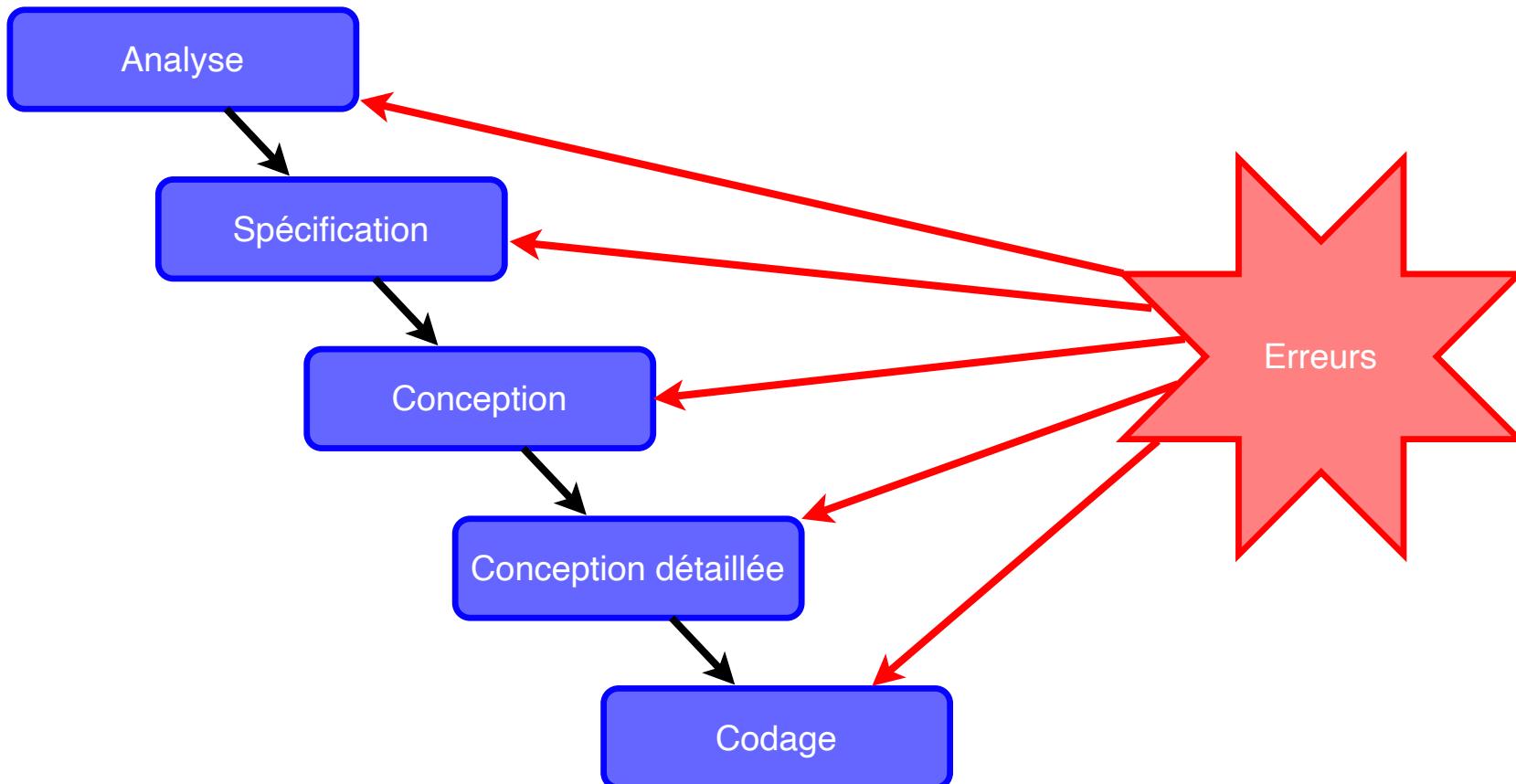
# CYCLE DE DÉVELOPPEMENT



# CYCLE DE DÉVELOPPEMENT



# CYCLE DE DÉVELOPPEMENT



Des **erreurs** possibles à toutes les étapes du développement.

# LOGICIELS CRITIQUES

# LOGICIELS CRITIQUES

- Une défaillance dans un logiciel peut avoir des conséquences catastrophiques (humaines, financières, ...).

# LOGICIELS CRITIQUES

- Une défaillance dans un logiciel peut avoir des conséquences catastrophiques (humaines, financières, ...).
- Exemple du calculateur de bord d'Ariane 5
  - Vol 241/5101 du 25 janvier 2018

# LOGICIELS CRITIQUES

- Une défaillance dans un logiciel peut avoir des conséquences catastrophiques (humaines, financières, ...).
- Exemple du calculateur de bord d'Ariane 5
  - Vol 241/5101 du 25 janvier 2018



# **SITUATIONS À ÉVITER !!!**

# SITUATIONS À ÉVITER !!!



# SITUATIONS À ÉVITER !!!



# SOLUTIONS

# SOLUTIONS

- Les **règles** et les **techniques** de programmation.

# SOLUTIONS

- Les **règles** et les **techniques** de programmation.
- Les **méthodologies** de développement.

# SOLUTIONS

- Les **règles** et les **techniques** de programmation.
- Les **méthodologies** de développement.
- Le **support** des langages de programmation.

# SOLUTIONS

- Les **règles** et les **techniques** de programmation.
- Les **méthodologies** de développement.
- Le **support** des langages de programmation.
- Le **test**.

# SOLUTIONS

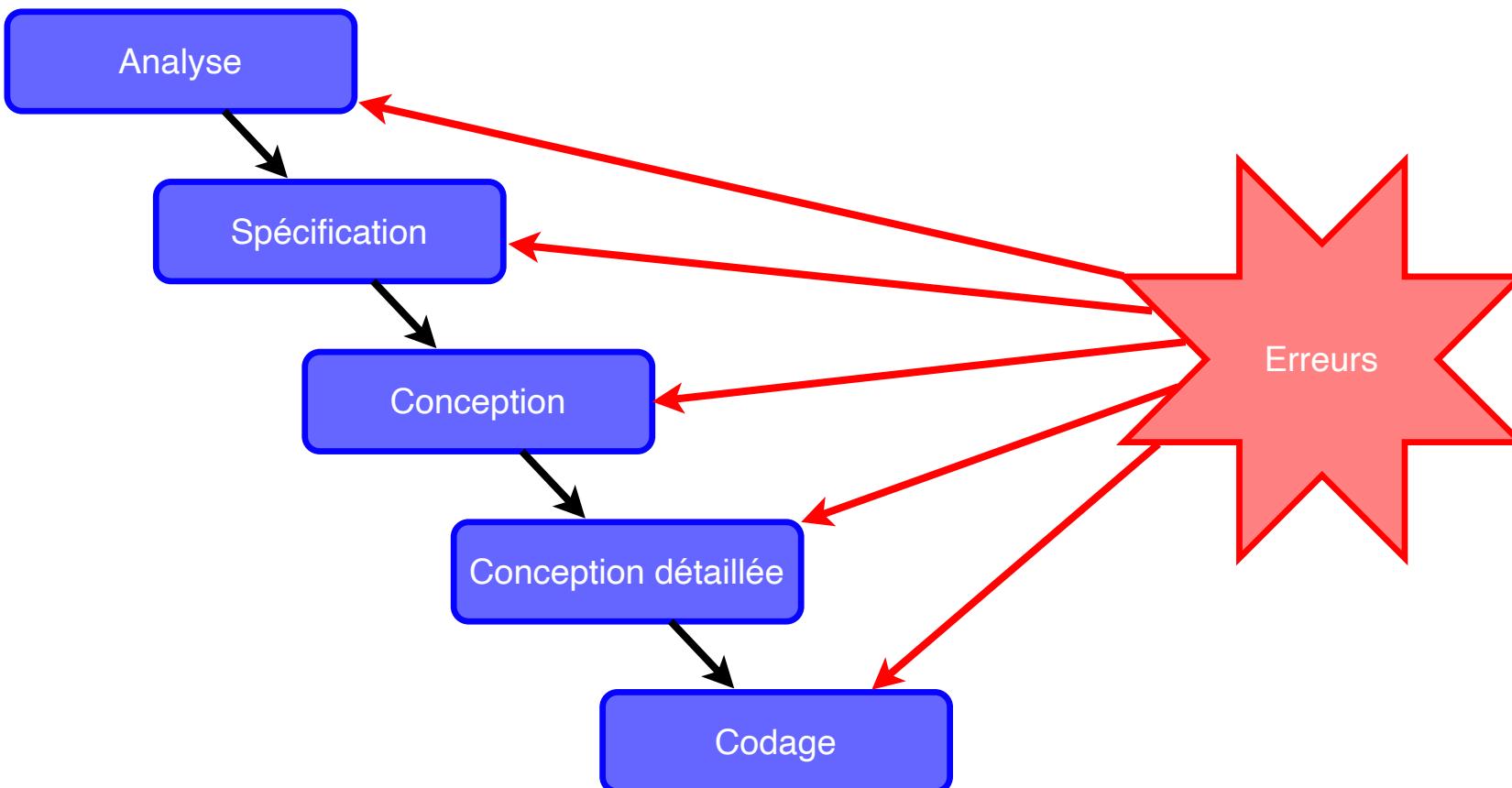
- Les **règles** et les **techniques** de programmation.
- Les **méthodologies** de développement.
- Le **support** des langages de programmation.
- Le **test**.
- Les **méthodes formelles**.

# SOLUTIONS

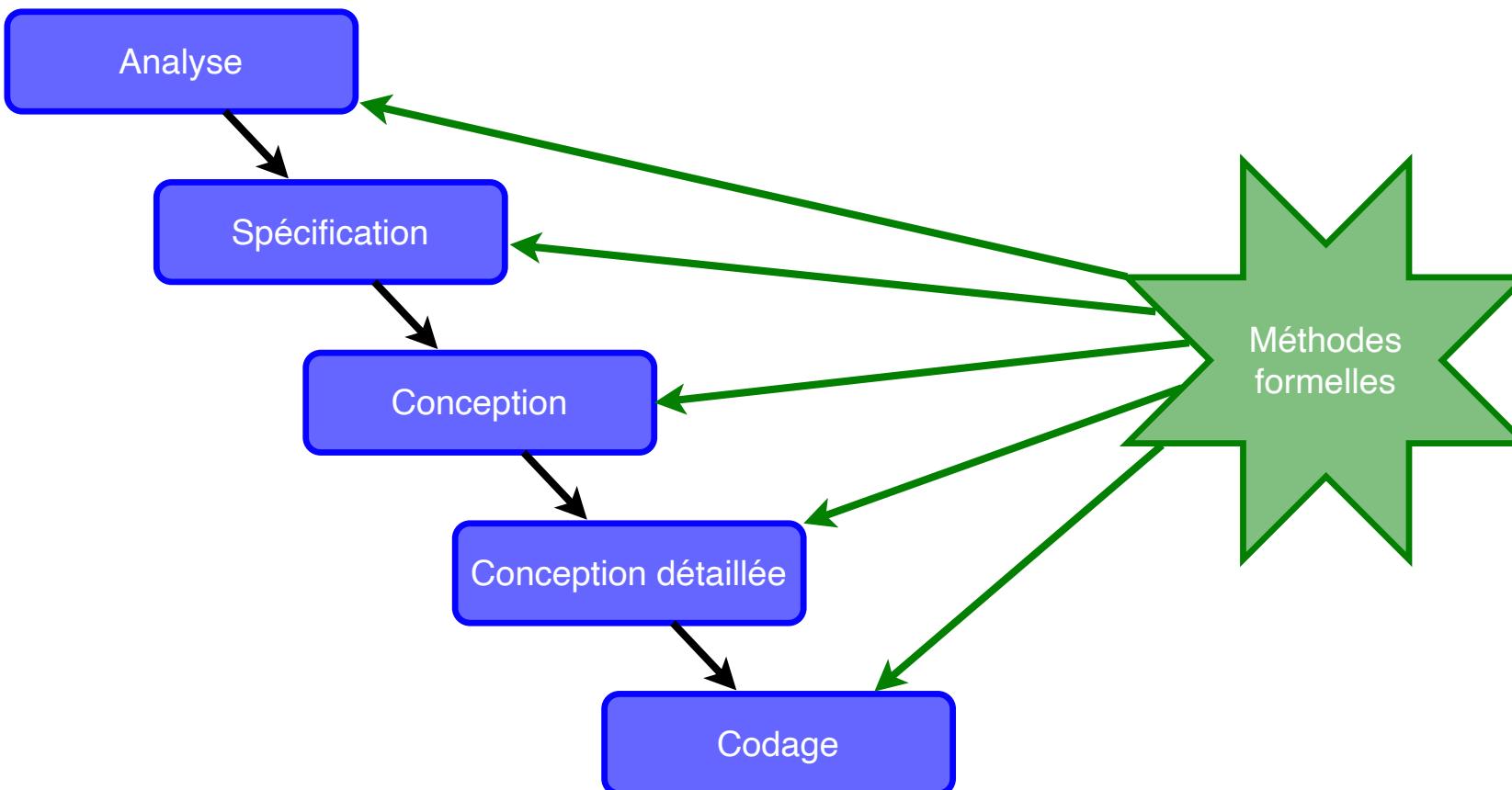
- Les **règles** et les **techniques** de programmation.
- Les **méthodologies** de développement.
- Le **support** des langages de programmation.
- Le **test**.
- **Les méthodes formelles.**

# **LA PLACE DES MÉTHODES FORMELLES**

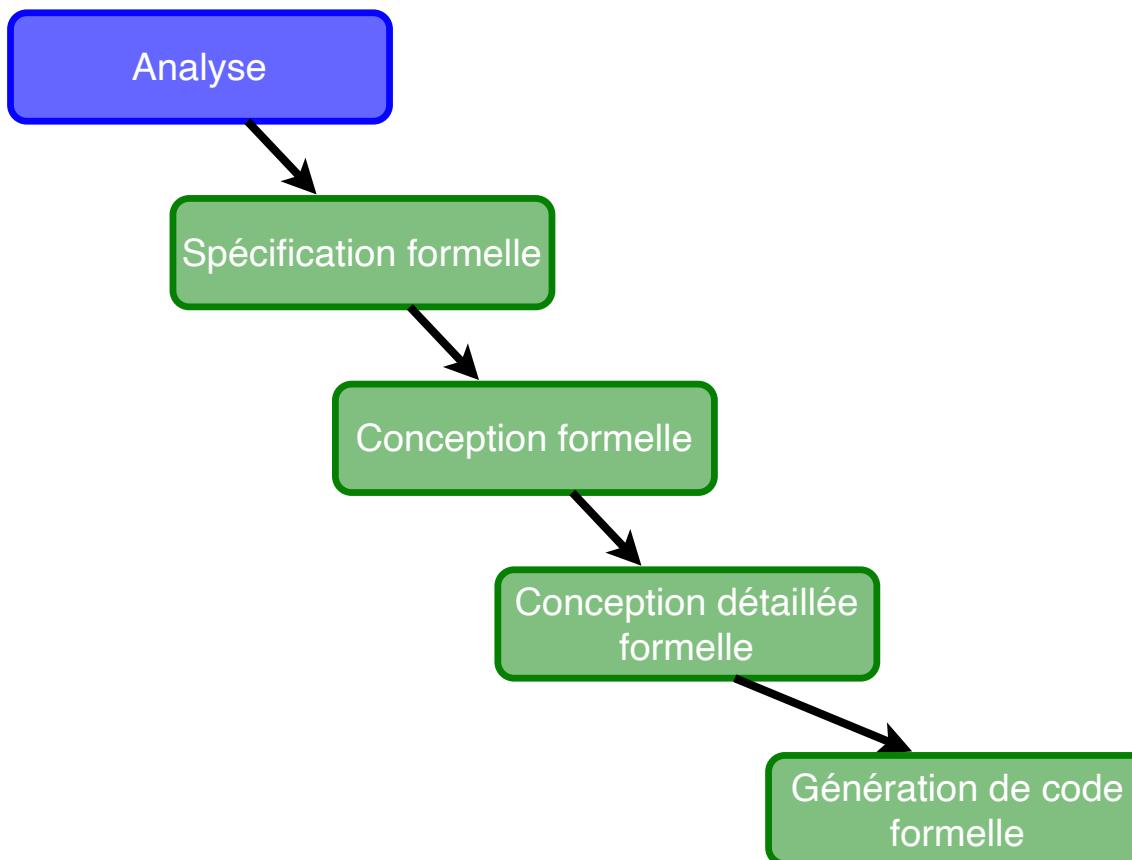
# LA PLACE DES MÉTHODES FORMELLES



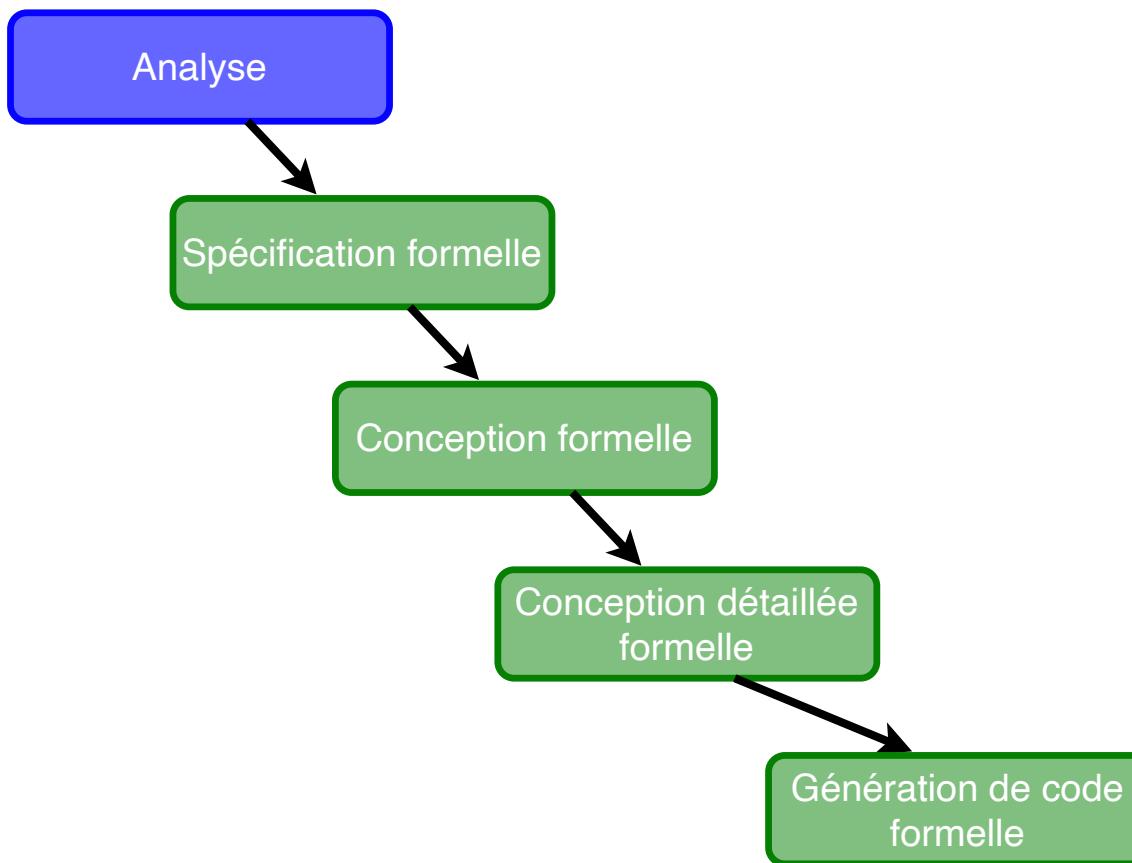
# LA PLACE DES MÉTHODES FORMELLES



# LA PLACE DES MÉTHODES FORMELLES



# LA PLACE DES MÉTHODES FORMELLES



Utiliser les **méthodes formelles** dans **toutes les étapes**.

# **LES MÉTHODES FORMELLES ET LA VÉRIFICATION**

# LES MÉTHODES FORMELLES ET LA VÉRIFICATION

- **Les méthodes formelles**

# LES MÉTHODES FORMELLES ET LA VÉRIFICATION

- **Les méthodes formelles**
  - 👉 Une **méthode d'ingénierie** pour le développement de systèmes basée sur des **concepts logiques et mathématiques rigoureux**.

# LES MÉTHODES FORMELLES ET LA VÉRIFICATION

- **Les méthodes formelles**

👉 Une **méthode d'ingénierie** pour le développement de systèmes basée sur des **concepts logiques et mathématiques rigoureux**.  
**(déterminer ce que le logiciel est censé faire)**

# LES MÉTHODES FORMELLES ET LA VÉRIFICATION

- **Les méthodes formelles**
  - 👉 Une **méthode d'ingénierie** pour le développement de systèmes basée sur des **concept logiques et mathématiques** rigoureux.  
**(déterminer ce que le logiciel est censé faire)**
- L'activité de **vérification**

# LES MÉTHODES FORMELLES ET LA VÉRIFICATION

- **Les méthodes formelles**
  - 👉 Une **méthode d'ingénierie** pour le développement de systèmes basée sur des **concepts logiques et mathématiques** rigoureux.  
**(déterminer ce que le logiciel est censé faire)**
- L'activité de **vérification**
  - 👉 **Vérifier** qu'un système **répond aux exigences** identifiées dans sa **spécification** en utilisant **une méthode formelle**.

# LES MÉTHODES FORMELLES ET LA VÉRIFICATION

- **Les méthodes formelles**
  - 👉 Une **méthode d'ingénierie** pour le développement de systèmes basée sur des **concepts logiques et mathématiques** rigoureux.  
**(déterminer** ce que le logiciel est censé faire)
- L'activité de **vérification**
  - 👉 **Vérifier** qu'un système **répond aux exigences** identifiées dans sa **spécification** en utilisant **une méthode formelle**.  
**(prouver** que le logiciel fait ce qu'il est censé faire)

# LES MÉTHODES FORMELLES ET LA VÉRIFICATION

- **Les méthodes formelles**
  - 👉 Une **méthode d'ingénierie** pour le développement de systèmes basée sur des **concepts logiques et mathématiques rigoureux**.  
**(déterminer ce que le logiciel est censé faire)**
- L'activité de **vérification**
  - 👉 **Vérifier** qu'un système **répond aux exigences** identifiées dans sa **spécification** en utilisant **une méthode formelle**.  
**(prouver** que le logiciel fait ce qu'il est censé faire)
- **Spécification formelle/Vérification formelle/Synthèse formelle**

# CONCLUSION

Une **analyse** utilisant les **méthodes formelles** peut fournir la **preuve** que le système est complet et **correct vis à vis de ses exigences**.

# QUI RECOMMANDÉ LES MÉTHODES FORMELLES ?

# QUI RECOMMANDÉ LES MÉTHODES FORMELLES ?

- **Norme européenne**

L'utilisation de spécifications formelles seule rend **les exigences non ambiguës**.

# QUI RECOMMANDÉ LES MÉTHODES FORMELLES ?

- **Norme européenne**  
L'utilisation de spécifications formelles seule rend **les exigences non ambiguës**.
- **Norme aéronautique**  
L'utilisation de méthodes formelles a pour but d'**éliminer les erreurs de spécification, de conception et de codage** lors du développement.

# QUI RECOMMANDÉ LES MÉTHODES FORMELLES ?

- **Norme européenne**  
L'utilisation de spécifications formelles seule rend les exigences non ambiguës.
- **Norme aéronautique**  
L'utilisation de méthodes formelles a pour but d'éliminer les erreurs de spécification, de conception et de codage lors du développement.
- **Norme ferroviaire**  
Pour les spécifications, des méthodes formelles sont recommandées car le modèle formel fournit précision, non ambiguïté et cohérence.

# EXEMPLES DE NORMES



# EXEMPLES DE NORMES

- Les **normes européennes EN 50126, EN 50128, EN 50129**



# EXEMPLES DE NORMES

- Les **normes européennes EN 50126, EN 50128, EN 50129**  
👉 des **standards** utilisés dans le **domaine ferroviaire**.



# EXEMPLES DE NORMES

- Les **normes européennes EN 50126, EN 50128, EN 50129**
  - 👉 des **standards** utilisés dans le **domaine ferroviaire**.
  - 👉 requises pour les fournisseurs d'équipements de contrôle-commande.



# **LES MÉTHODES FORMELLES RECOMMANDÉES**

# LES MÉTHODES FORMELLES RECOMMANDÉES

- Quelques **méthodes formelles** recommandées par les **normes** :

# LES MÉTHODES FORMELLES RECOMMANDÉES

- Quelques **méthodes formelles** recommandées par les **normes** :  
 "CSP, HOL, LOTOS, **Temporal Logic**, **B Method**, **Model Checking** ..."

# LES MÉTHODES FORMELLES RECOMMANDÉES

- Quelques **méthodes formelles** recommandées par les **normes** :
  - 👉 "CSP, HOL, LOTOS, **Temporal Logic**, **B Method**, **Model Checking**..."
  - 👉 page 103 de la norme **EN 50128**

# QUI UTILISE LES MÉTHODES FORMELLES?



# EVALUATION ASSURANCE LEVEL (EAL)

# EVALUATION ASSURANCE LEVEL (EAL)

- **7 niveaux d'assurance** d'évaluation selon les critères communs

# EVALUATION ASSURANCE LEVEL (EAL)

- **7 niveaux d'assurance** d'évaluation selon les critères communs
  - **EAL1** : testé fonctionnellement

# EVALUATION ASSURANCE LEVEL (EAL)

- **7 niveaux d'assurance** d'évaluation selon les critères communs
  - **EAL1** : testé fonctionnellement
  - **EAL2** : testé structurellement

# EVALUATION ASSURANCE LEVEL (EAL)

- **7 niveaux d'assurance** d'évaluation selon les critères communs
  - **EAL1** : testé fonctionnellement
  - **EAL2** : testé structurellement
  - **EAL3** : testé et vérifié méthodiquement

# EVALUATION ASSURANCE LEVEL (EAL)

- **7 niveaux d'assurance** d'évaluation selon les critères communs
  - **EAL1** : testé fonctionnellement
  - **EAL2** : testé structurellement
  - **EAL3** : testé et vérifié méthodiquement
  - **EAL4** : conçu, testé et vérifié méthodiquement

# EVALUATION ASSURANCE LEVEL (EAL)

- **7 niveaux d'assurance** d'évaluation selon les critères communs
  - **EAL1** : testé fonctionnellement
  - **EAL2** : testé structurellement
  - **EAL3** : testé et vérifié méthodiquement
  - **EAL4** : conçu, testé et vérifié méthodiquement
  - **EAL5** : conçu de façon semi-formelle et testé

# EVALUATION ASSURANCE LEVEL (EAL)

- **7 niveaux d'assurance** d'évaluation selon les critères communs
  - **EAL1** : testé fonctionnellement
  - **EAL2** : testé structurellement
  - **EAL3** : testé et vérifié méthodiquement
  - **EAL4** : conçu, testé et vérifié méthodiquement
  - **EAL5** : conçu de façon semi-formelle et testé
  - **EAL6** : conception vérifiée de façon semi-formelle et système testé

# EVALUATION ASSURANCE LEVEL (EAL)

- **7 niveaux d'assurance** d'évaluation selon les critères communs
  - **EAL1** : testé fonctionnellement
  - **EAL2** : testé structurellement
  - **EAL3** : testé et vérifié méthodiquement
  - **EAL4** : conçu, testé et vérifié méthodiquement
  - **EAL5** : conçu de façon semi-formelle et testé
  - **EAL6** : conception vérifiée de façon semi-formelle et système testé
  - **EAL7** : conception vérifiée de façon formelle et système testé

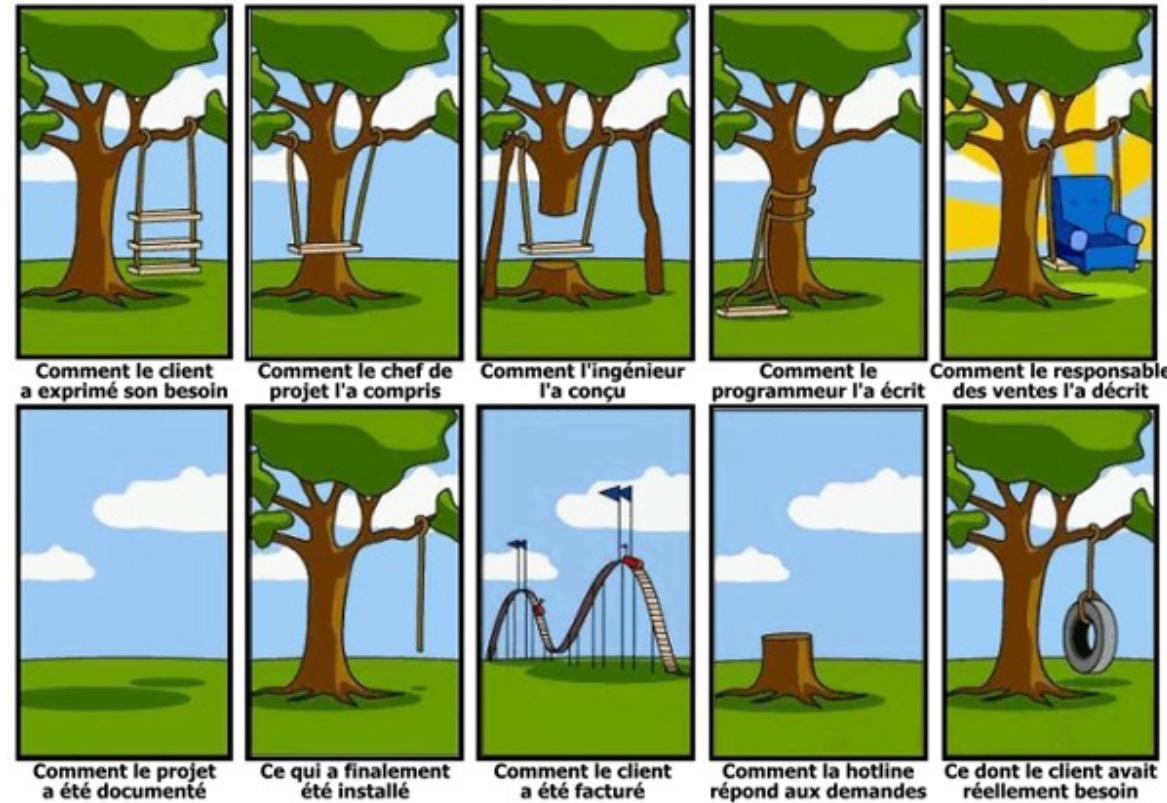
# EVALUATION ASSURANCE LEVEL (EAL)

- **7 niveaux d'assurance** d'évaluation selon les critères communs
  - **EAL1** : testé fonctionnellement
  - **EAL2** : testé structurellement
  - **EAL3** : testé et vérifié méthodiquement
  - **EAL4** : conçu, testé et vérifié méthodiquement
  - **EAL5** : conçu de façon semi-formelle et testé
  - **EAL6** : conception vérifiée de façon semi-formelle et système testé
  - **EAL7** : conception vérifiée de façon formelle et système testé
- **Les applications civiles** : les EAL sont généralement de 1 à 4 (4+).

# EVALUATION ASSURANCE LEVEL (EAL)

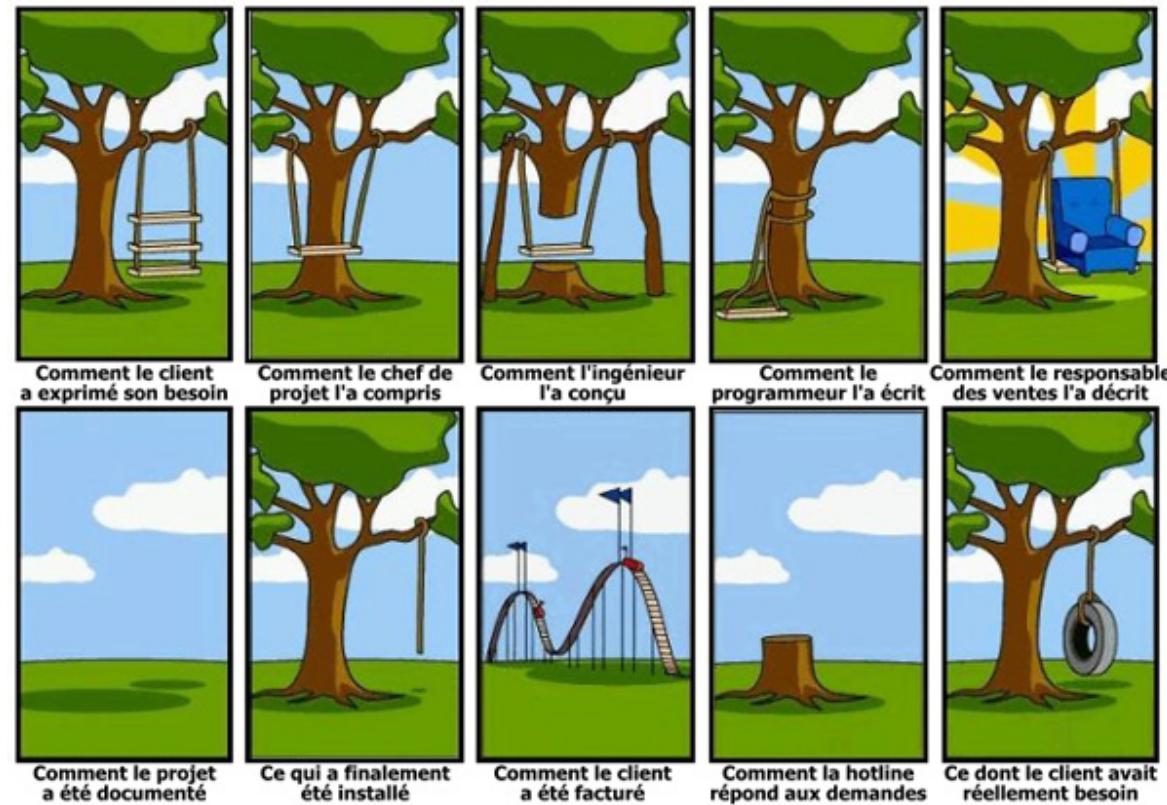
- **7 niveaux d'assurance** d'évaluation selon les critères communs
  - **EAL1** : testé fonctionnellement
  - **EAL2** : testé structurellement
  - **EAL3** : testé et vérifié méthodiquement
  - **EAL4** : conçu, testé et vérifié méthodiquement
  - **EAL5** : conçu de façon semi-formelle et testé
  - **EAL6** : conception vérifiée de façon semi-formelle et système testé
  - **EAL7** : conception vérifiée de façon formelle et système testé
- **Les applications civiles** : les EAL sont généralement de 1 à 4 (4+).
- **Les applications militaires** : les EAL sont de 5 à 7.

# QUELQUES MYTHES



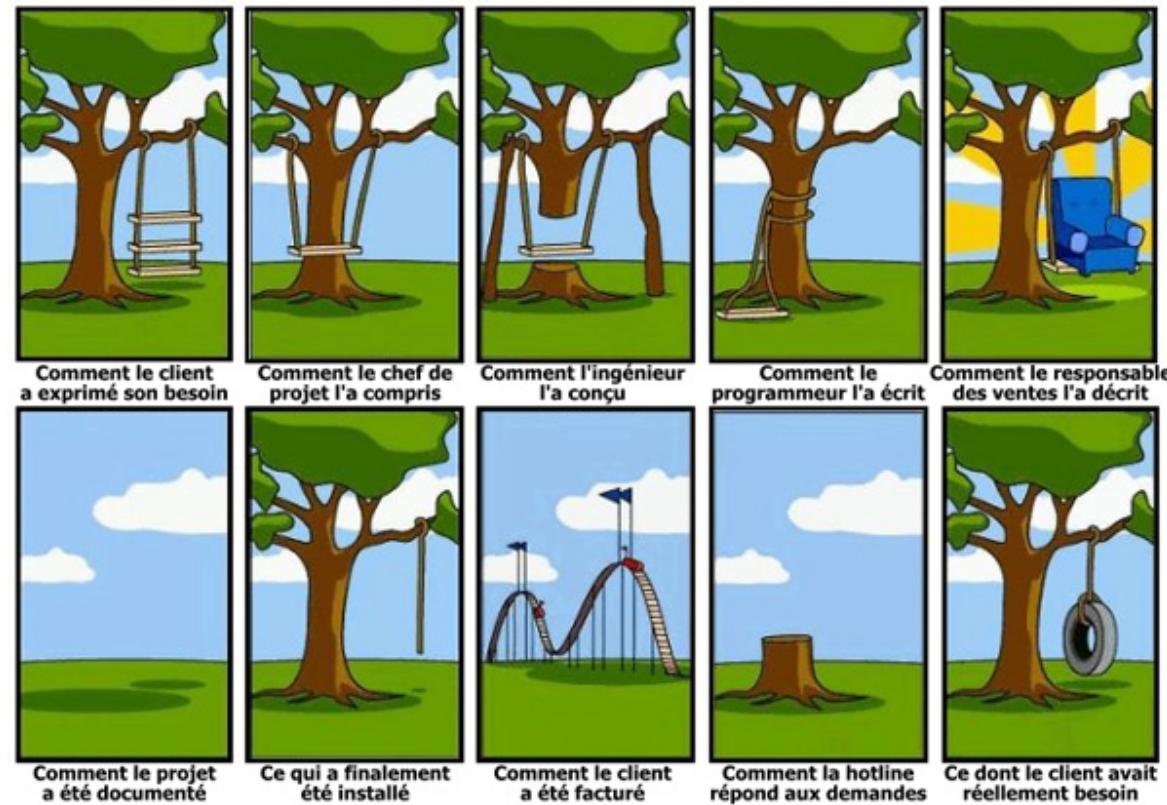
# QUELQUES MYTHES

- L'utilisation des méthodes formelles **produit un logiciel parfait ?**



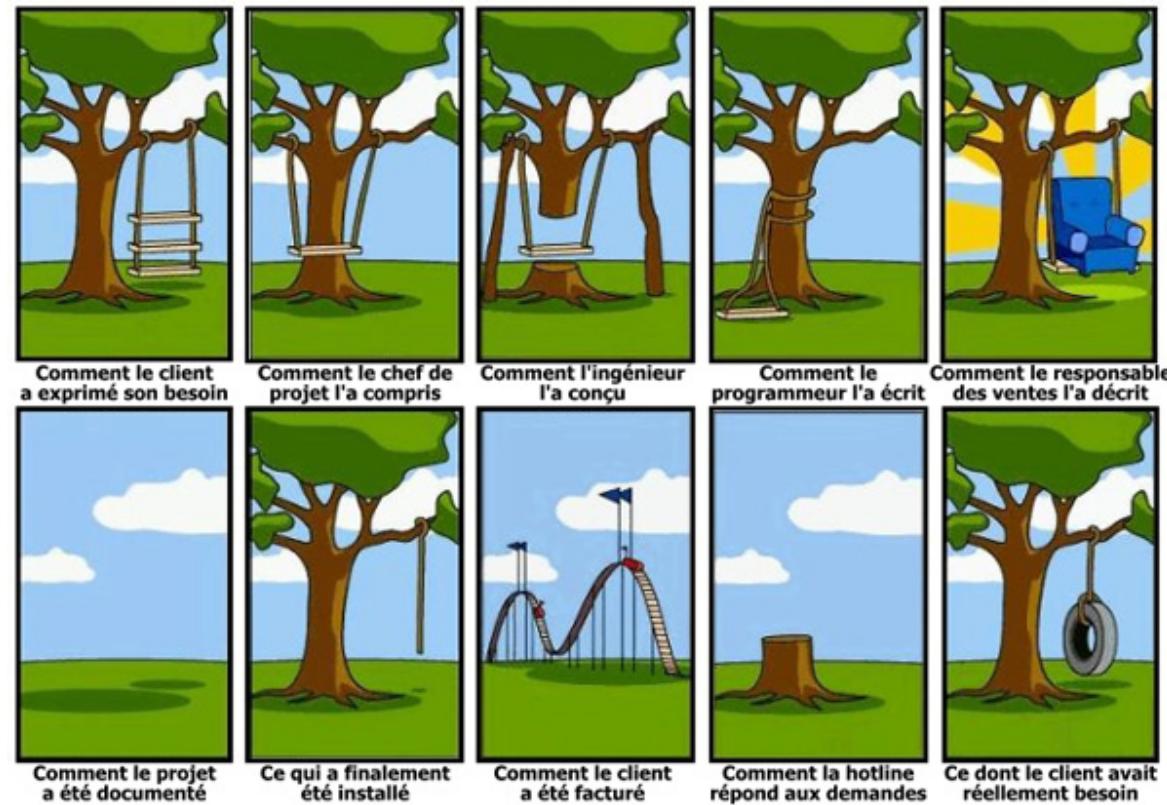
# QUELQUES MYTHES

- L'utilisation des méthodes formelles **produit un logiciel parfait ?**  
👉 non-sens, une spécification formelle est un modèle du monde réel



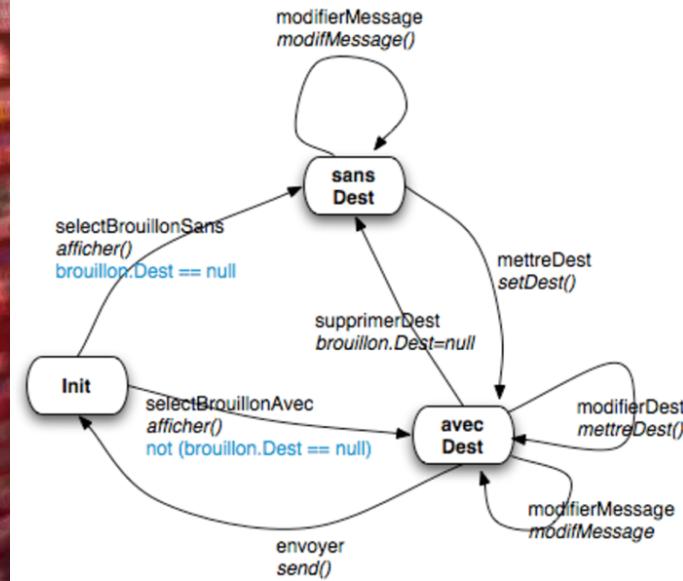
# QUELQUES MYTHES

- L'utilisation des méthodes formelles **produit un logiciel parfait ?**
  - 👉 non-sens, une spécification formelle est un modèle du monde réel
  - 👉 peut inclure des erreurs, des omissions et des malentendus



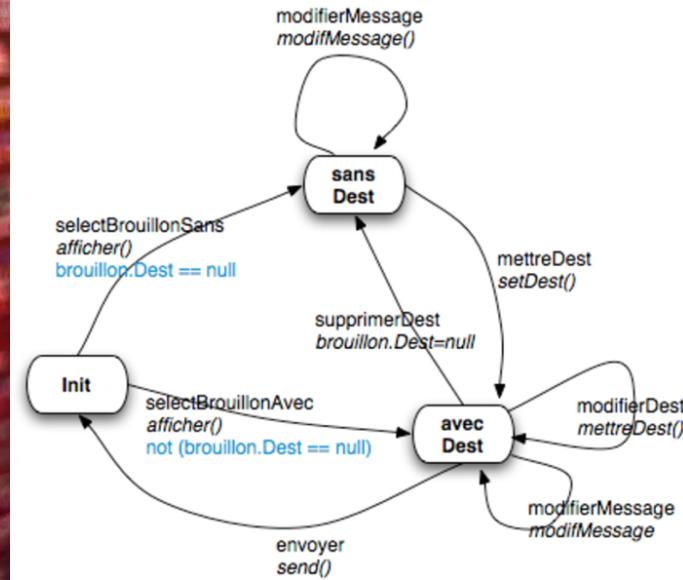
# QUELQUES MYTHES

- Utiliser les méthodes formelles faire de la preuve de programme ?



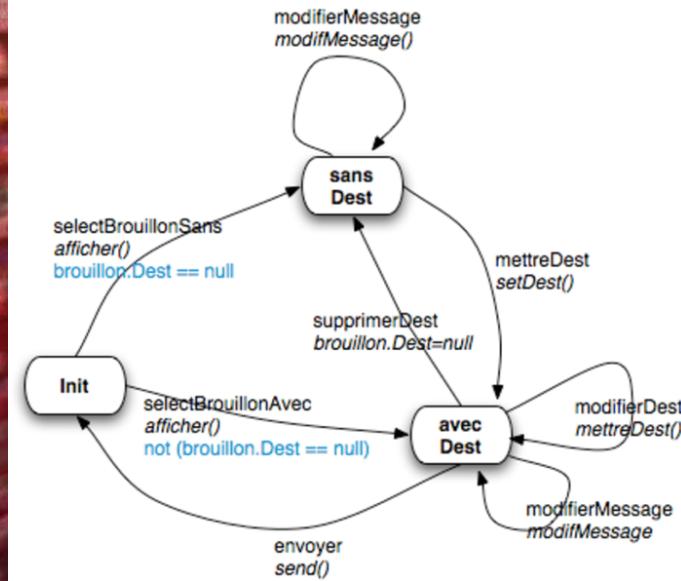
# QUELQUES MYTHES

- Utiliser les méthodes formelles  $\approx$  faire de **la preuve de programme** ?  
👉 la modélisation d'un système est valable sans vérification de programmes



# QUELQUES MYTHES

- Utiliser les méthodes formelles  $\approx$  faire de **la preuve de programme** ?
  - 👉 la modélisation d'un système est valable sans vérification de programmes
  - 👉 la spécification formelle force à une analyse détaillée du système



# QUELQUES MYTHES

- Les méthodes formelles que pour **les systèmes critiques** ?



# QUELQUES MYTHES

- Les méthodes formelles que pour **les systèmes critiques** ?  
👉 l'expérience industrielle montre que les coûts de développement sont réduits pour tous les types de systèmes.



# QUELQUES MYTHES

- Les méthodes formelles que pour **les systèmes critiques** ?
  - 👉 l'expérience industrielle montre que les coûts de développement sont réduits pour tous les types de systèmes.  
(IHM multimodales, microservices, validation de données, ...)



# QUELQUES MYTHES

- Les méthodes formelles sont uniquement pour **les mathématiciens** ?

$$\text{tg } \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$
$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma} = 2R$$
$$\text{tg}(\alpha - \beta) = \frac{\text{tg} \alpha - \text{tg} \beta}{1 + \text{tg} \alpha \cdot \text{tg} \beta}$$

# QUELQUES MYTHES

- Les méthodes formelles sont uniquement pour **les mathématiciens** ?  
👉 non-sens, les mathématiques employées sont élémentaires.

$$\text{tg } \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$
$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma} = 2R$$
$$\text{tg}(\alpha - \beta) = \frac{\text{tg} \alpha - \text{tg} \beta}{1 + \text{tg} \alpha \cdot \text{tg} \beta}$$
$$f'(x) \equiv \lim_{x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$

# QUELQUES MYTHES

- Les méthodes formelles **augmentent les coûts de développement ?**



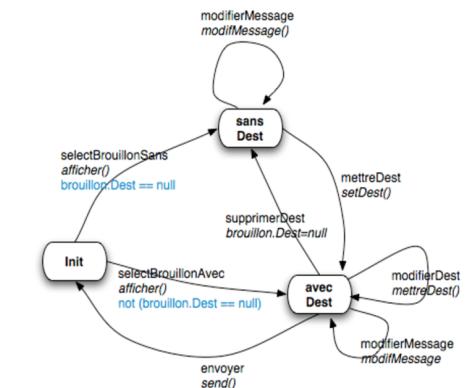
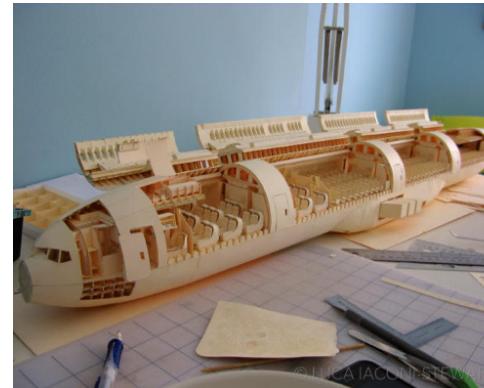
# QUELQUES MYTHES

- Les méthodes formelles **augmentent les coûts de développement ?**  
👉 non-prouvé, il y a un déplacement des coûts vers les premières t pes.



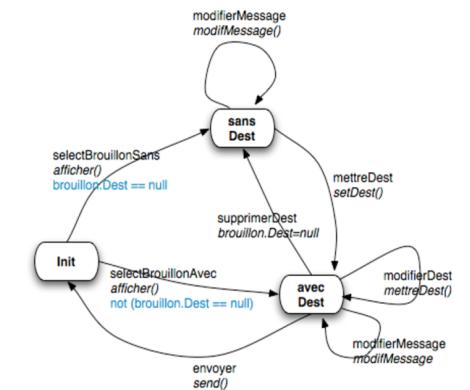
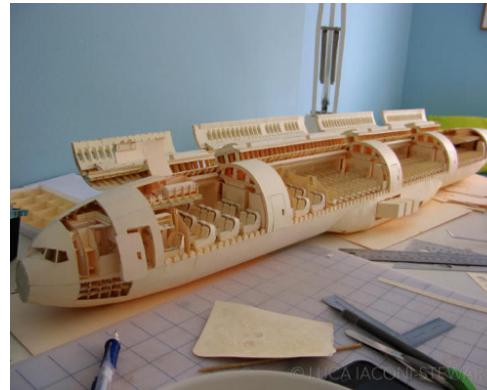
# QUELQUES MYTHES

- Les clients **ne peuvent pas comprendre** les spécifications formelles.



# QUELQUES MYTHES

- Les clients **ne peuvent pas comprendre** les spécifications formelles.  
👉 il faut les paraphraser en langage naturel, ou utiliser le prototypage.



# **LE CADRE DE LA ST**

# LE CADRE DE LA ST



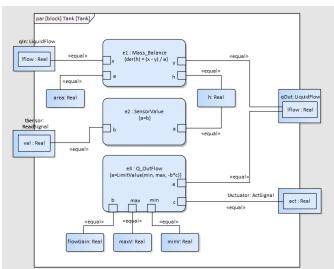
Systèmes complexes à logiciels prépondérants

# LE CADRE DE LA ST



Automatique  
Modélisation de systèmes

Modélisation de systèmes



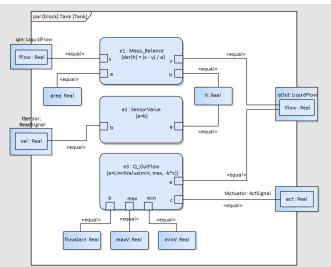
Vérification, analyse fonctionnelle, simulation, ...

# LE CADRE DE LA ST



Automatique  
Modélisation de systèmes

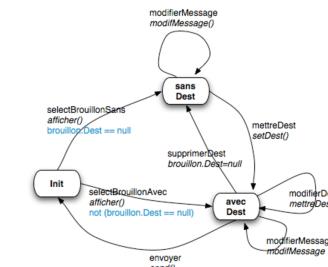
Modélisation de systèmes



Vérification, analyse fonctionnelle, simulation, ...

Informatique

Modélisation de logiciels



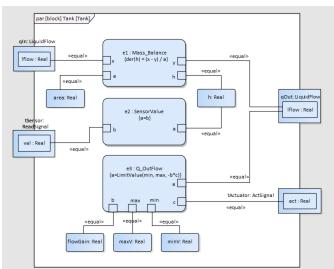
Vérification, model checking, preuve, ...

# LE CADRE DE LA ST



Automatique  
Modélisation de systèmes

Modélisation de systèmes



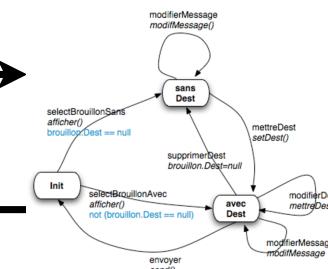
données, mesures, évènements, ...

commandes

Vérification, analyse fonctionnelle, simulation, ...

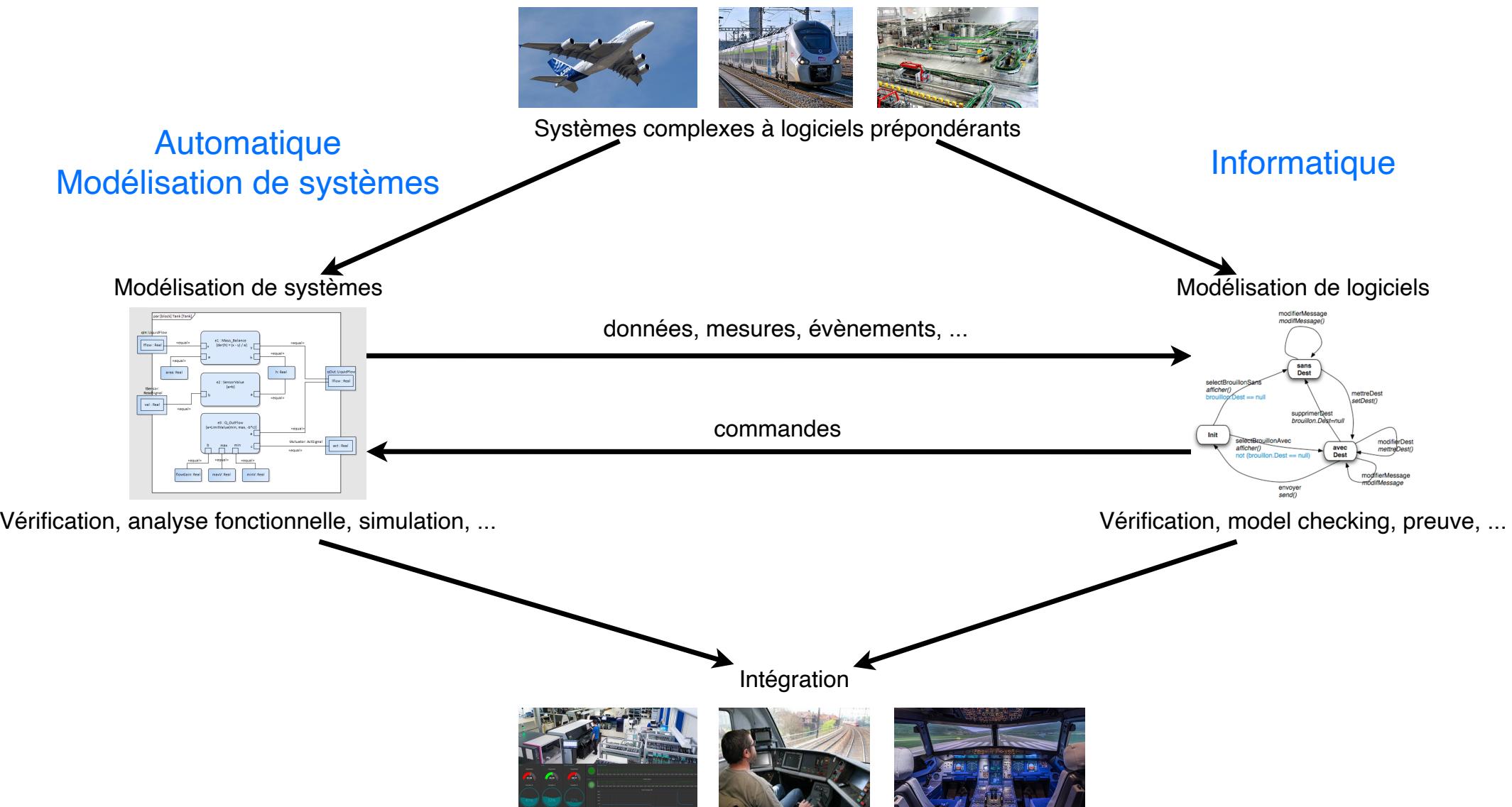
Informatique

Modélisation de logiciels



Vérification, model checking, preuve, ...

# LE CADRE DE LA ST



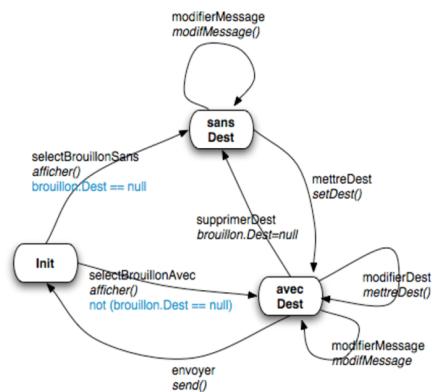
# L'OBJECTIF DE LA ST

# L'OBJECTIF DE LA ST

Comment exprimer (modéliser) et vérifier les propriétés comportementales des systèmes critiques?

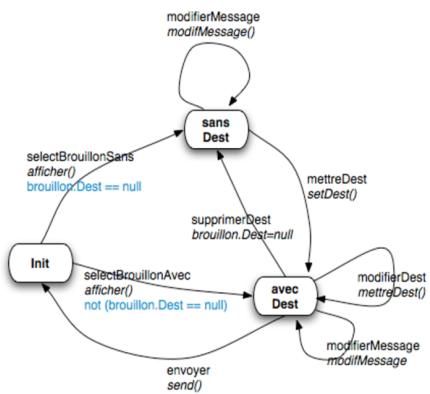
# L'OBJECTIF DE LA ST

Comment exprimer (modéliser) et vérifier les propriétés comportementales des systèmes critiques?



# L'OBJECTIF DE LA ST

Comment exprimer (modéliser) et vérifier les propriétés comportementales des systèmes critiques?



Cette ST va vous aider à répondre à cette question !!!

# PLAN

- La présentation de la ST
- Contexte et Enjeux
- Présentation du cours spécifique
- Enseignement d'intégration
- Validation de la ST
- Pour aller plus loin

[Retour au plan](#) - [Retour à l'accueil](#)

# PLANNING

Lundi 18 septembre 2023 - Amphi II, Eiffel

# PLANNING

Lundi 18 septembre 2023 - Amphi II, Eiffel

**08h15 - 09h45** Présentation de la séquence thématique

---

Idir AIT-SADOUNE (CentraleSupélec)

---

**10h00 - 11h30** Séminaire

---

Guillaume GIRAUD (RTE)

# PLANNING

Lundi 25 septembre 2023 - Amphi II, Eiffel

# PLANNING

Lundi 25 septembre 2023 - Amphi II, Eiffel

**08h15 - 09h45 Séminaire**

---

Lucien PEREZ (IKOS Consulting)

---

**10h00 - 11h30 Présentation des Els**

---

Idir AIT-SADOUNE (CentraleSupélec)

# PLANNING

Mardi 26 septembre 2023 - Amphi II, Eiffel

# PLANNING

Mardi 26 septembre 2023 - Amphi II, Eiffel

**08h15 - 09h45 Séminaire**

---

Michel BATTEUX (Systemic Intelligence)

---

**10h00 - 11h30 Séminaire**

---

Thierry LECOMTE (ClearSy)

# **NOTE DE SYNTHÈSE**

# NOTE DE SYNTHÈSE

- Rédaction d'une **note de prise de recul individuelle** qui sera évaluée selon un processus **d'évaluation par les pairs**.

# NOTE DE SYNTHÈSE

- Rédaction d'une **note de prise de recul individuelle** qui sera évaluée selon un processus **d'évaluation par les pairs**.
- Longueur de **pages maximum** rédigée en **français/anglais** et portant sur les aspects suivants :

# NOTE DE SYNTHÈSE

- Rédaction d'une **note de prise de recul individuelle** qui sera évaluée selon un processus **d'évaluation par les pairs**.
- Longueur de **pages maximum** rédigée en **français/anglais** et portant sur les aspects suivants :
  - Description et compréhension de la thématique

# NOTE DE SYNTHÈSE

- Rédaction d'une **note de prise de recul individuelle** qui sera évaluée selon un processus **d'évaluation par les pairs**.
- Longueur de **pages maximum** rédigée en **français/anglais** et portant sur les aspects suivants :
  - Description et compréhension de la thématique
  - Enjeux/défis économiques, sociaux, industriels, actuels et futurs

# NOTE DE SYNTHÈSE

- Rédaction d'une **note de prise de recul individuelle** qui sera évaluée selon un processus **d'évaluation par les pairs**.
- Longueur de **pages maximum** rédigée en **français/anglais** et portant sur les aspects suivants :
  - Description et compréhension de la thématique
  - Enjeux/défis économiques, sociaux, industriels, actuels et futurs
  - Verrous scientifiques et technologiques majeurs

# NOTE DE SYNTHÈSE

- Rédaction d'une **note de prise de recul individuelle** qui sera évaluée selon un processus **d'évaluation par les pairs**.
- Longueur de **pages maximum** rédigée en **français/anglais** et portant sur les aspects suivants :
  - Description et compréhension de la thématique
  - Enjeux/défis économiques, sociaux, industriels, actuels et futurs
  - Verrous scientifiques et technologiques majeurs
  - Domaines clés d'innovation pour l'ingénieur

# NOTE DE SYNTHÈSE

- Rédaction d'une **note de prise de recul individuelle** qui sera évaluée selon un processus **d'évaluation par les pairs**.
- Longueur de **pages maximum** rédigée en **français/anglais** et portant sur les aspects suivants :
  - Description et compréhension de la thématique
  - Enjeux/défis économiques, sociaux, industriels, actuels et futurs
  - Verrous scientifiques et technologiques majeurs
  - Domaines clés d'innovation pour l'ingénieur
- Une attention particulière sera portée à la clarté de cette note.

# **CONTENU D'UNE NOTE**

# **CONTENU D'UNE NOTE**

Vous pourrez apporter, en développant les points précédents, des éléments de réponse aux interrogations suivantes :

# CONTENU D'UNE NOTE

Vous pourrez apporter, en développant les points précédents, des éléments de réponse aux interrogations suivantes :

- Quels sont **les points des modules contexte et enjeux qui m'ont le plus marqué**, quels messages ressortent du lot, pourquoi ?

# CONTENU D'UNE NOTE

Vous pourrez apporter, en développant les points précédents, des éléments de réponse aux interrogations suivantes :

- Quels sont **les points des modules contexte et enjeux qui m'ont le plus marqué**, quels messages ressortent du lot, pourquoi ?
- Ai-je pris conscience **des besoins de développement sur des compétences importantes** pour l'ingénieur ?

# CONTENU D'UNE NOTE

Vous pourrez apporter, en développant les points précédents, des éléments de réponse aux interrogations suivantes :

- Quels sont **les points des modules contexte et enjeux qui m'ont le plus marqué**, quels messages ressortent du lot, pourquoi ?
- Ai-je pris conscience **des besoins de développement sur des compétences importantes** pour l'ingénieur ?
- Quel est mon ressenti par rapport à **mes attentes** en sélectionnant cette Séquence Thématique ?

# CONTENU D'UNE NOTE

Vous pourrez apporter, en développant les points précédents, des éléments de réponse aux interrogations suivantes :

- Quels sont **les points des modules contexte et enjeux qui m'ont le plus marqué**, quels messages ressortent du lot, pourquoi ?
- Ai-je pris conscience **des besoins de développement sur des compétences importantes** pour l'ingénieur ?
- Quel est mon ressenti par rapport à **mes attentes** en sélectionnant cette Séquence Thématique ?
- Quelles **innovations pour le futur** ?

# CONTENU D'UNE NOTE

Vous pourrez apporter, en développant les points précédents, des éléments de réponse aux interrogations suivantes :

- Quels sont **les points des modules contexte et enjeux qui m'ont le plus marqué**, quels messages ressortent du lot, pourquoi ?
- Ai-je pris conscience **des besoins de développement sur des compétences importantes** pour l'ingénieur ?
- Quel est mon ressenti par rapport à **mes attentes** en sélectionnant cette Séquence Thématique ?
- Quelles **innovations pour le futur** ?
- Pourquoi et comment pourrais-je les aborder ?

# **ÉVALUATION PAR LES PAIRS**

# ÉVALUATION PAR LES PAIRS

Processus d'évaluation

# ÉVALUATION PAR LES PAIRS

## Processus d'évaluation

- Une note de prise de recul rédigée par chacun

# ÉVALUATION PAR LES PAIRS

## Processus d'évaluation

- Une note de prise de recul rédigée par chacun
- 3 notes de prise de recul notées par chacun

# ÉVALUATION PAR LES PAIRS

## Processus d'évaluation

- **Une note de prise de recul rédigée par chacun**
- **3 notes de prise de recul notées par chacun**
- **Une note de prise de recul sera notée par 3 étudiants**

# ÉVALUATION PAR LES PAIRS

## Processus d'évaluation

- **Une note** de prise de recul **rédigée par chacun**
- **3 notes** de prise de recul **notées par chacun**
- **Une note** de prise de recul sera **notée par 3 étudiants**
- **Note finale:** moyenne des notes reçues par une note.

# ÉVALUATION PAR LES PAIRS

## Processus d'évaluation

- **Une note** de prise de recul **rédigée par chacun**
- **3 notes** de prise de recul **notées par chacun**
- **Une note** de prise de recul sera **notée par 3 étudiants**
- **Note finale:** moyenne des notes reçues par une note.

Dates importantes (délai strict)

# ÉVALUATION PAR LES PAIRS

## Processus d'évaluation

- **Une note** de prise de recul **rédigée par chacun**
- **3 notes** de prise de recul **notées par chacun**
- **Une note** de prise de recul sera **notée par 3 étudiants**
- **Note finale:** moyenne des notes reçues par une note.

## Dates importantes (délai strict)

- **Dépôt du travail:** au plus tard le **vendredi 20/10/2023 à 23h59.**

# ÉVALUATION PAR LES PAIRS

## Processus d'évaluation

- **Une note** de prise de recul **rédigée par chacun**
- **3 notes** de prise de recul **notées par chacun**
- **Une note** de prise de recul sera **notée par 3 étudiants**
- **Note finale:** moyenne des notes reçues par une note.

## Dates importantes (délai strict)

- **Dépôt du travail:** au plus tard le **vendredi 20/10/2023 à 23h59.**
- **Évaluation par les pairs :** entre le **23 et le 27/10/2023 à 23h59.**

# PLAN

- La présentation de la ST
- Contexte et Enjeux
- Présentation du cours spécifique
- Enseignement d'intégration
- Validation de la ST
- Pour aller plus loin

[Retour au plan](#) - [Retour à l'accueil](#)

# LE PROGRAMME

Conception et vérification de systèmes critiques

# LE PROGRAMME

## Conception et vérification de systèmes critiques

**Les logiques temporelles**      **2 CMs, 2 TDs** ( $4 \times 1h30$ )

---

Marc AIGUIER (CentraleSupélec)

---

**Le Model Checking**      **1 CMs, 3 TDs** ( $4 \times 1h30$ )

---

Paolo BALLARINI (CentraleSupélec)

---

**Les automates temporisés**      **2 CMs, 4 TDs, 1 TP** ( $6 \times 1h30$ )

---

Lina YE (CentraleSupélec)

---

**Les modèles stochastiques**      **2 CMs, 3 TDs, 1 TP** ( $5 \times 1h30$ )

---

Paolo BALLARINI (CentraleSupélec)

# **ORGANISATION DU COURS**

# ORGANISATION DU COURS

- **Date de début** : lundi 18/09/2023 à 15h15 / [\*\*Amphi II, Eiffel.\*\*](#)

# ORGANISATION DU COURS

- **Date de début** : lundi 18/09/2023 à 15h15 / **Amphi II, Eiffel.**
  - **Cours** : en présentiel

# ORGANISATION DU COURS

- **Date de début** : lundi 18/09/2023 à 15h15 / **Amphi II, Eiffel.**
  - **Cours** : en présentiel
  - **TD** : en présentiel

# ORGANISATION DU COURS

- **Date de début** : lundi 18/09/2023 à 15h15 / **Amphi II, Eiffel.**
  - **Cours** : en présentiel
  - **TD** : en présentiel
  - **TP** : devoir maison

# ORGANISATION DU COURS

- **Date de début** : lundi 18/09/2023 à 15h15 / **Amphi II, Eiffel.**
  - **Cours** : en présentiel
  - **TD** : en présentiel
  - **TP** : devoir maison
- Polycopie, slides, énoncés des TD/TP, corrections des TD/TP  
**en versions PDF** disponibles sur **Edunao**.

# ORGANISATION DU COURS

- Date de début : lundi 18/09/2023 à 15h15 / Amphi II, Eiffel.
  - Cours : en présentiel
  - TD : en présentiel
  - TP : devoir maison
- Polycopie, slides, énoncés des TD/TP, corrections des TD/TP en versions PDF disponibles sur Edunao.
- Polycopie en version papier disponible

# ORGANISATION DU COURS

- Date de début : lundi 18/09/2023 à 15h15 / **Amphi II, Eiffel.**
  - Cours : en présentiel
  - TD : en présentiel
  - TP : devoir maison
- Polycopie, slides, énoncés des TD/TP, corrections des TD/TP  
**en versions PDF** disponibles sur **Edunao**.
- Polycopie **en version papier** disponible
- Le polycopie contient plus d'informations que ce qui sera vu en cours.

# PLAN

- La présentation de la ST
- Contexte et Enjeux
- Présentation du cours spécifique
- Enseignement d'intégration
- Validation de la ST
- Pour aller plus loin

[Retour au plan](#) - [Retour à l'accueil](#)

# LES ENSEIGNEMENTS D'INTÉGRATION

Présentation des sujets et des détails de l'organisation des Els  
le **lundi 25/09/2023 à 10h00.**

# PLAN

- La présentation de la ST
- Contexte et Enjeux
- Présentation du cours spécifique
- Enseignement d'intégration
- Validation de la ST
- Pour aller plus loin

[Retour au plan](#) - [Retour à l'accueil](#)

# **VALIDATION DE LA ST**

# VALIDATION DE LA ST

- La **ST5** valide une Unité d'Enseignement (**UE**) **Séquence Thématique** dédiée à **la modélisation fonctionnelle et la régulation.**

# VALIDATION DE LA ST

- La **ST5** valide une Unité d'Enseignement (**UE**) **Séquence Thématique** dédiée à **la modélisation fonctionnelle et la régulation**.
- L'évaluation est constituée des activités suivantes :

# VALIDATION DE LA ST

- La **ST5** valide une Unité d'Enseignement (**UE**) **Séquence Thématique** dédiée à **la modélisation fonctionnelle et la régulation**.
- L'évaluation est constituée des activités suivantes :
  - **modules contexte et enjeux** : 0.2 ECTS,

# VALIDATION DE LA ST

- La **ST5** valide une Unité d'Enseignement (**UE**) **Séquence Thématique** dédiée à **la modélisation fonctionnelle et la régulation**.
- L'évaluation est constituée des activités suivantes :
  - **modules contexte et enjeux** : 0.2 ECTS,
  - **cours automatique et contrôle** : 2.5 ECTS,

# VALIDATION DE LA ST

- La **ST5** valide une Unité d'Enseignement (**UE**) **Séquence Thématique** dédiée à **la modélisation fonctionnelle et la régulation**.
- L'évaluation est constituée des activités suivantes :
  - **modules contexte et enjeux** : 0.2 ECTS,
  - **cours automatique et contrôle** : 2.5 ECTS,
  - **cours modélisation système** : 2 ECTS,

# VALIDATION DE LA ST

- La **ST5** valide une Unité d'Enseignement (**UE**) **Séquence Thématique** dédiée à **la modélisation fonctionnelle et la régulation**.
- L'évaluation est constituée des activités suivantes :
  - **modules contexte et enjeux** : 0.2 ECTS,
  - **cours automatique et contrôle** : 2.5 ECTS,
  - **cours modélisation système** : 2 ECTS,
  - **cours spécifique** : 2.5 ECTS,

# VALIDATION DE LA ST

- La **ST5** valide une Unité d'Enseignement (**UE**) **Séquence Thématique** dédiée à **la modélisation fonctionnelle et la régulation**.
- L'évaluation est constituée des activités suivantes :
  - **modules contexte et enjeux** : 0.2 ECTS,
  - **cours automatique et contrôle** : 2.5 ECTS,
  - **cours modélisation système** : 2 ECTS,
  - **cours spécifique** : 2.5 ECTS,
  - **enseignement d'intégration (EI)** : 1.8 ECTS.

# VALIDATION DE LA ST

- La **ST5** valide une Unité d'Enseignement (**UE**) **Séquence Thématique** dédiée à **la modélisation fonctionnelle et la régulation**.
- L'évaluation est constituée des activités suivantes :
  - **modules contexte et enjeux** : 0.2 ECTS,
  - **cours automatique et contrôle** : 2.5 ECTS,
  - **cours modélisation système** : 2 ECTS,
  - **cours spécifique** : 2.5 ECTS,
  - **enseignement d'intégration (EI)** : 1.8 ECTS.
- Pour **valider une UE**, un élève doit obtenir **une note  $\geq 10/20$**  à **chacune des activités** constituant l'UE.

# VALIDATION DE LA ST

- La **ST5** valide une Unité d'Enseignement (**UE**) **Séquence Thématique** dédiée à **la modélisation fonctionnelle et la régulation**.
- L'évaluation est constituée des activités suivantes :
  - **modules contexte et enjeux** : 0.2 ECTS,
  - **cours automatique et contrôle** : 2.5 ECTS,
  - **cours modélisation système** : 2 ECTS,
  - **cours spécifique** : 2.5 ECTS,
  - **enseignement d'intégration (EI)** : 1.8 ECTS.
- Pour **valider une UE**, un élève doit obtenir **une note  $\geq 10/20$**  à **chacune des activités** constituant l'UE.
- L'**EI** est **un cas particulier** et doit être validé par **une note  $\geq 12/20$** .

# EVALUATIONS

# EVALUATIONS

- **Module contexte et enjeux**
  - évaluation de la note de prise de recul.

# EVALUATIONS

- **Module contexte et enjeux**
  - évaluation de la note de prise de recul.
- **Cours spécifique**
  - l'examen aura lieu le **Mercredi 08/11/2023**.
  - les sujets d'examens seront en français et en anglais. Les élèves peuvent composer dans la langue de leur choix (**français/anglais**).
  - le contrôle final aura une durée de **1h30**.

# EVALUATIONS

- **Module contexte et enjeux**
  - évaluation de la note de prise de recul.
- **Cours spécifique**
  - l'examen aura lieu le **Mercredi 08/11/2023**.
  - les sujets d'examens seront en français et en anglais. Les élèves peuvent composer dans la langue de leur choix (**français/anglais**).
  - le contrôle final aura une durée de **1h30**.
- **Enseignement d'Intégration**
  - la note sera détaillée lors de la présentation des Els.

# **ORGANISATION DES RATTRAPAGES**

# ORGANISATION DES RATTRAPAGES

- **Module contexte et enjeux**
  - si la note de synthèse n'est pas rendue : la note = 0.
  - si la note  $\in [0..7]$  : un oral de 15 minutes est organisé.

# ORGANISATION DES RATTRAPAGES

- **Module contexte et enjeux**
  - si la note de synthèse n'est pas rendue : la note = 0.
  - si la note  $\in [0..7]$  : un oral de 15 minutes est organisé.
- **Cours spécifique**
  - si la note  $\leq 7$  : un rattrapage est programmé.
  - examen écrit de même durée que l'examen initial.

# ORGANISATION DES RATTRAPAGES

- **Module contexte et enjeux**
  - si la note de synthèse n'est pas rendue : la note = 0.
  - si la note  $\in [0..7]$  : un oral de 15 minutes est organisé.
- **Cours spécifique**
  - si la note  $\leq 7$  : un rattrapage est programmé.
  - examen écrit de même durée que l'examen initial.
- **Enseignement d'Intégration**
  - si la note  $< 12$  : un rattrapage est programmé.

# L'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES

# L'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES

La **ST5** évalue les compétences **C1, C2, C4, C6 et C7.**

# L'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES

La **ST5** évalue les compétences **C1, C2, C4, C6 et C7**.

- **Module contexte et enjeux**
  - **C2** → développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers

# L'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES

La **ST5** évalue les compétences **C1, C2, C4, C6 et C7**.

- **Module contexte et enjeux**
  - **C2** → développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers
- **Cours spécifique**
  - **C1.2** → l'examen : utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses pertinentes

# L'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES

La **ST5** évalue les compétences **C1, C2, C4, C6 et C7**.

- **Module contexte et enjeux**
  - **C2** → développer une compétence approfondie dans un domaine d'ingénieur et dans une famille de métiers
- **Cours spécifique**
  - **C1.2** → **l'examen** : utiliser et développer les modèles adaptés, choisir la bonne échelle de modélisation et les hypothèses pertinentes
  - **C1.4** → **le TP** : spécifier, réaliser et valider un système complexe

# L'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES

La **ST5** évalue les compétences **C1, C2, C4, C6 et C7**.

- **Enseignement d'Intégration**

# L'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES

La **ST5** évalue les compétences **C1, C2, C4, C6 et C7**.

- **Enseignement d'Intégration**
  - **C4** : Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients.

# L'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES

La **ST5** évalue les compétences **C1, C2, C4, C6 et C7**.

- **Enseignement d'Intégration**

- **C4** : Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients.
- **C6** : Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique

# L'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES

La **ST5** évalue les compétences **C1, C2, C4, C6 et C7**.

- **Enseignement d'Intégration**

- **C4** : Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients.
- **C6** : Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique
- **C7** : Savoir convaincre

# L'ÉVALUATION DES COMPÉTENCES

La **ST5** évalue les compétences **C1, C2, C4, C6 et C7**.

- **Enseignement d'Intégration**

- **C4** : Avoir le sens de la création de valeur pour son entreprise et ses clients.
- **C6** : Être opérationnel, responsable et innovant dans le monde numérique
- **C7** : Savoir convaincre

Chaque responsable d'EI va détailler les  $C_{ij}$  ciblées dans son projet.

# PLAN

- La présentation de la ST
- Contexte et Enjeux
- Présentation du cours spécifique
- Enseignement d'intégration
- Validation de la ST
- Pour aller plus loin

[Retour au plan](#) - [Retour à l'accueil](#)

# **DOMINANTE INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE EN 3A**

# **DOMINANTE INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE EN 3A**

Mention : **Science du Logiciel**

<https://wdi.centralesupelec.fr/infocs/Public/Scilog>

# **DOMINANTE INFORMATIQUE ET NUMÉRIQUE EN 3A**

Mention : **Science du Logiciel**

<https://wdi.centralesupelec.fr/infocs/Public/Scilog>

**Responsable :** Frédéric BOULANGER

[frederic.boulanger@centralesupelec.fr](mailto:frederic.boulanger@centralesupelec.fr)

# FIN

- Retour à l'accueil
- Retour au plan