UNIVERSITÉ PARIS SUD

L3 informatique et MIAGE

Année 2016-2017

Génie logiciel avancé

Introduction

Génie logiciel, validation et vérification

Delphine Longuet

delphine.longuet@lri.fr

Organisation du cours

Modalités de contrôle des connaissances :

- TP noté : semaine du 10 octobre
- Partiel : semaine du 24 octobre
- Examen : semaine du 12 décembre

Note du contrôle continu (CC) = 40 % TP + 60 % partiel

Note finale = 40 % CC + 60 % examen

Note de 2^{e} session remplace la note finale (pas de report de CC)

Seuls les transparents du cours sont autorisés au partiel et aux examens

Page web du cours :

http://www.lri.fr/~longuet/Enseignements/16-17/L3-GLA

Génie logiciel

Définitions et processus de développement

Génie logiciel

Définition : Ensemble des méthodes, des techniques et des outils dédiés à la conception, au développement et à la maintenance des systèmes informatiques

Objectif : Avoir des procédures systématiques, rigoureuses et mesurables pour des logiciels de grande taille afin que

- la spécification corresponde aux besoins réels du client
- le logiciel respecte sa spécification
- les délais et les coûts alloués à la réalisation soient respectés

Logiciel : définitions

Ensemble d'entités nécessaires au fonctionnement d'un processus de traitement automatique de l'information

- Programmes, données, documentation...

Ensemble de programmes qui permet à un système informatique d'assurer une tâche ou une fonction en particulier

$$\text{Logiciel} = \text{programme} + \text{utilisation}$$

Logiciel : caractéristiques

Environnement

- utilisateurs : grand public (traitement de texte),
  spécialistes (calcul météorologique),
  développeurs (compilateur)
- autres logiciels : librairie, composant
- matériel : capteurs (système d'alarme),
  réseau physique (protocole),
  machine ou composant matériel contrôlé (ABS)

Spécification : ce que doit faire le logiciel, ensemble de critères que doivent satisfaire son fonctionnement interne et ses interactions avec son environnement

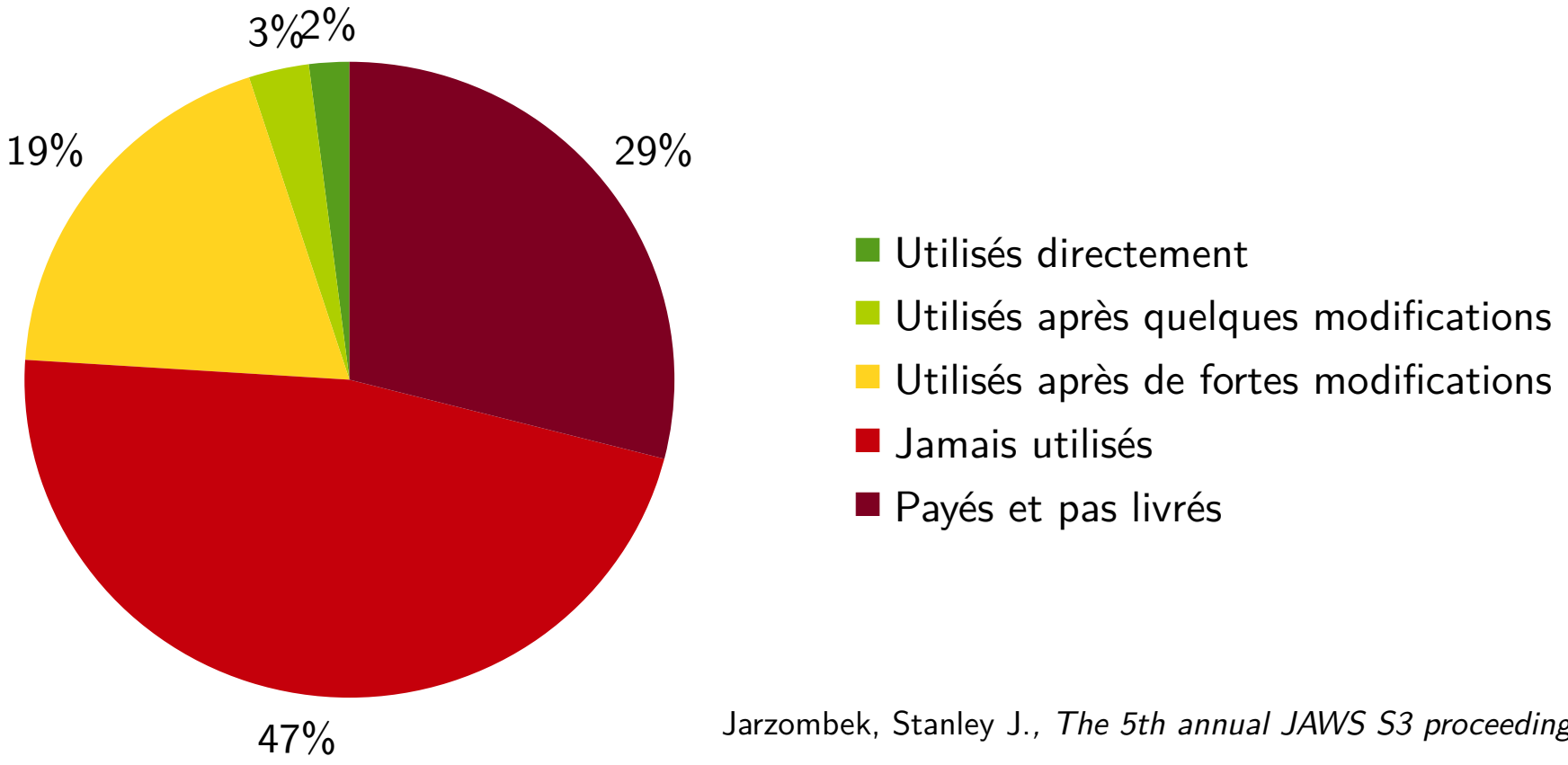
Crise du logiciel

Constat du développement logiciel fin années 60 :

- délais de livraison non respectés
- budgets non respectés
- ne répond pas aux besoins de l'utilisateur ou du client
- difficile à utiliser, maintenir, et faire évoluer

Étude du DoD 1995

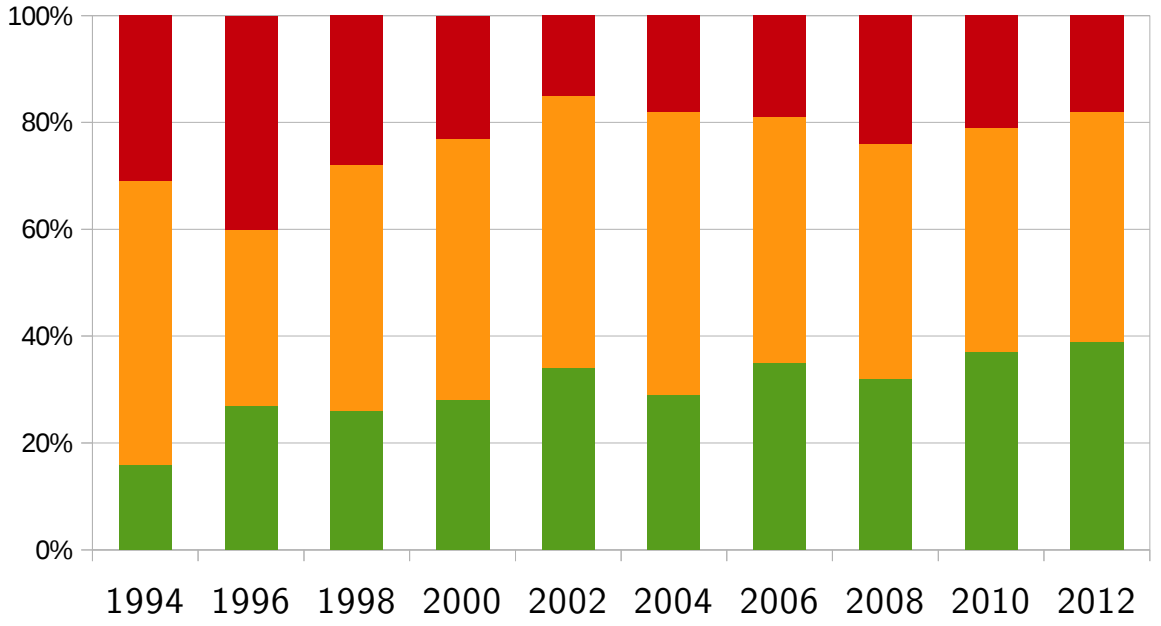
Étude du *Department of Defense* des États-Unis sur les logiciels produits dans le cadre de 9 gros projets militaires



Jarzombek, Stanley J., *The 5th annual JAWS S3 proceedings*, 1999

Étude du Standish group

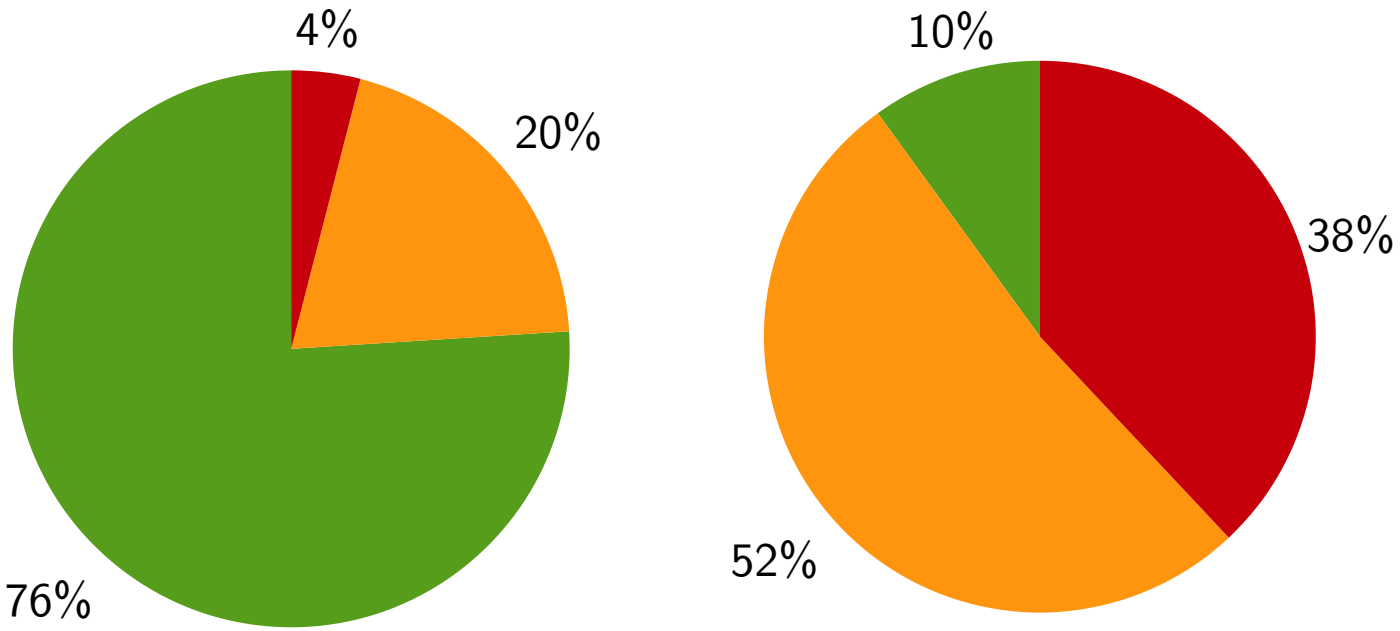
Enquête sur des milliers de projets, de toutes tailles et de tous secteurs



Standish group, *Chaos Manifesto 2013 - Think Big, Act Small*, 2013

- Projets réussis : achevés dans les délais et pour le budget impartis, avec toutes les fonctionnalités demandées
- Projets mitigés : achevés et opérationnels, mais livrés hors délais, hors budget ou sans toutes les fonctionnalités demandées
- Projets ratés : abandonnés avant la fin ou livrés mais jamais utilisés

Petits vs grands projets

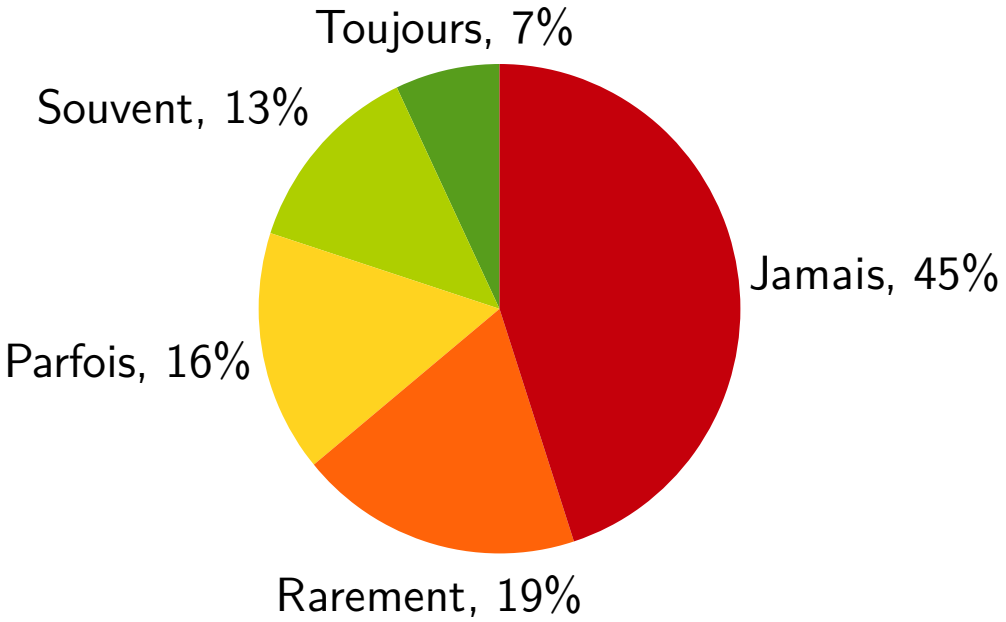


Petits projets
budget ≤ $1 million

Grands projets
budget ≥ $10 millions

Standish group, *Chaos Manifesto 2013 - Think Big, Act Small*, 2013

Utilisation des fonctionnalités implantées



Standish group, *Chaos Manifesto 2002*, 2002

« La satisfaction du client et la valeur du produit sont plus grandes lorsque les fonctionnalités livrées sont bien moins nombreuses que demandé et ne remplissent que les besoins évidents. »

Standish group, *Chaos Report 2015*, 2015

Raisons de la faible qualité des logiciels

Tâche complexe :

- Taille et complexité des logiciels
- Taille des équipes de conception/développement

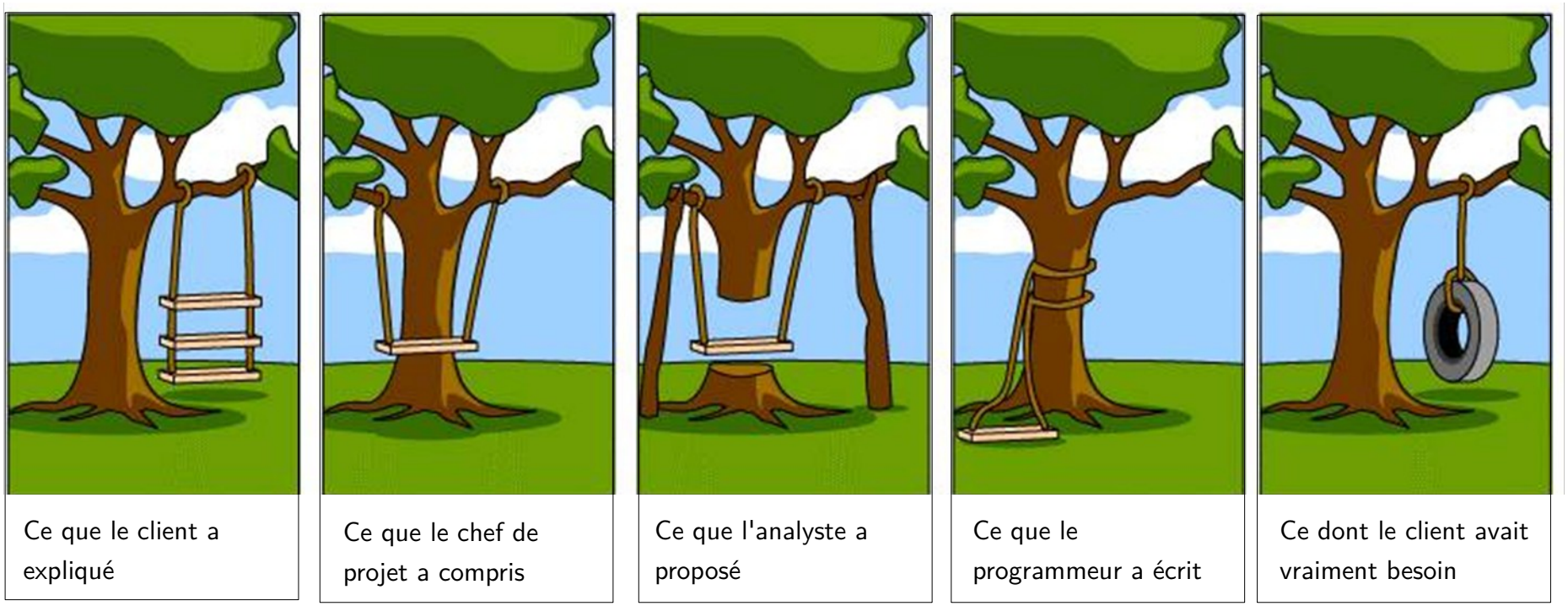
Manque de méthodes et de rigueur :

- Manque de méthodes de conception
- Négligence et manque de méthodes et d'outils des phases de validation/vérification

Mauvaise compréhension des besoins :

- Négligence de la phase d'analyse des besoins du client
- Manque d'implication du client dans le processus

Raisons de la faible qualité des logiciels



Raisons de la faible qualité des logiciels

Difficultés spécifiques du logiciel :

- Produit invisible et immatériel
- Difficile de mesurer la qualité
- Conséquences critiques causées par modifications infimes
- Mises à jour et maintenance dues à l'évolution rapide de la technologie
- Difficile de raisonner sur des programmes

Importance de la qualité des logiciels

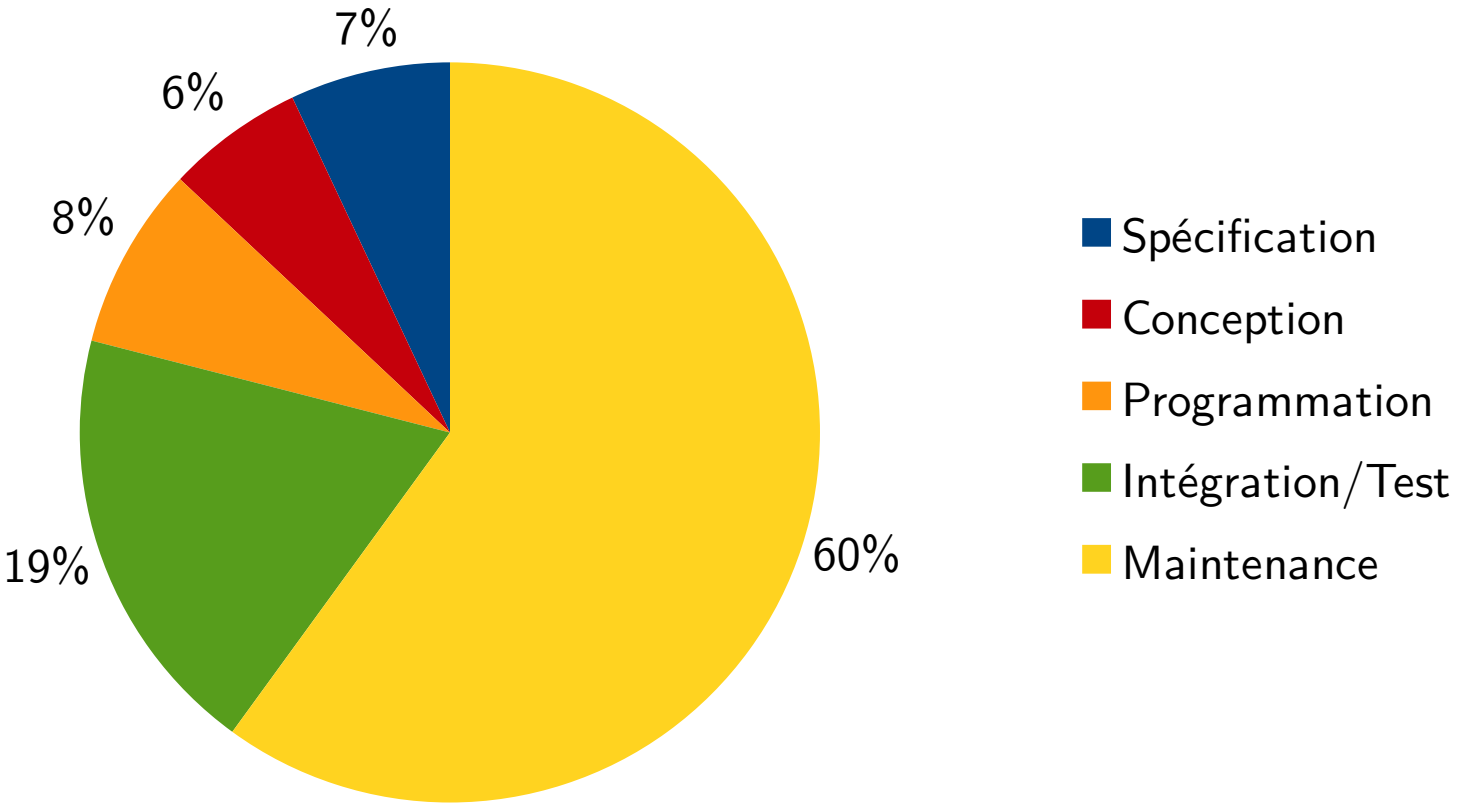
Fiabilité, sûreté et sécurité des logiciels

- Transports automobile, ferroviaire, aéronautique
- Contrôle de processus industriels, nucléaire, armement
- Médical : imagerie, appareillage, télé-surveillance
- e-commerce, carte bancaire sans contact, passeport électronique

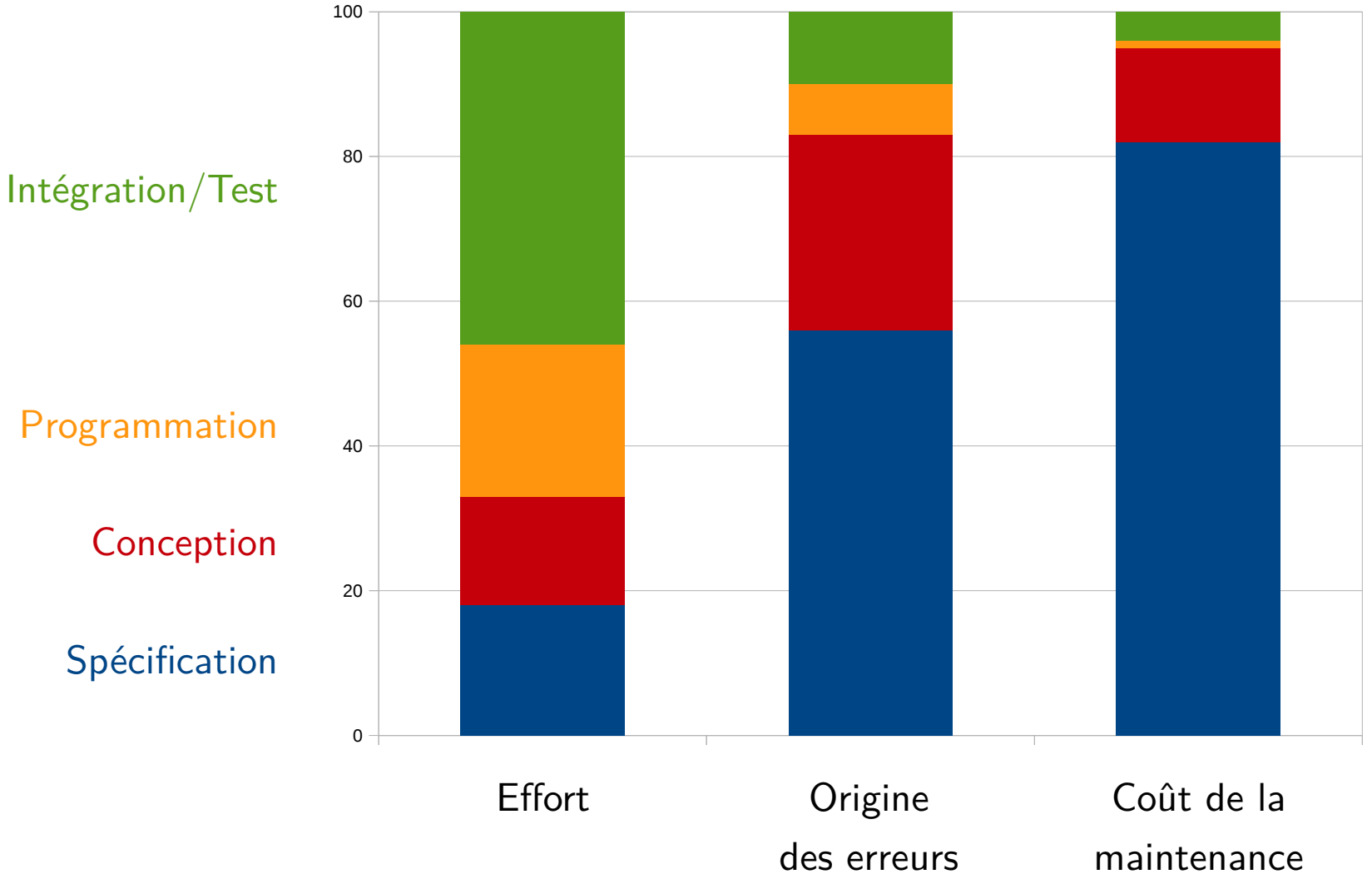
Raisons économiques : coût d'un bug

- coût de la correction, du rappel des appareils défectueux
- coût de l'impact sur l'image, de l'arrivée tardive sur le marché
- coût en vies, coût de l'impact écologique

Répartition de l'effort



Rapport effort/erreur/coût



Génie logiciel

Idée : appliquer les méthodes classiques d'ingénierie au domaine du logiciel

Ingénierie (ou génie) : Ensemble des fonctions allant de la conception et des études à la responsabilité de la construction et au contrôle des équipements d'une installation technique ou industrielle

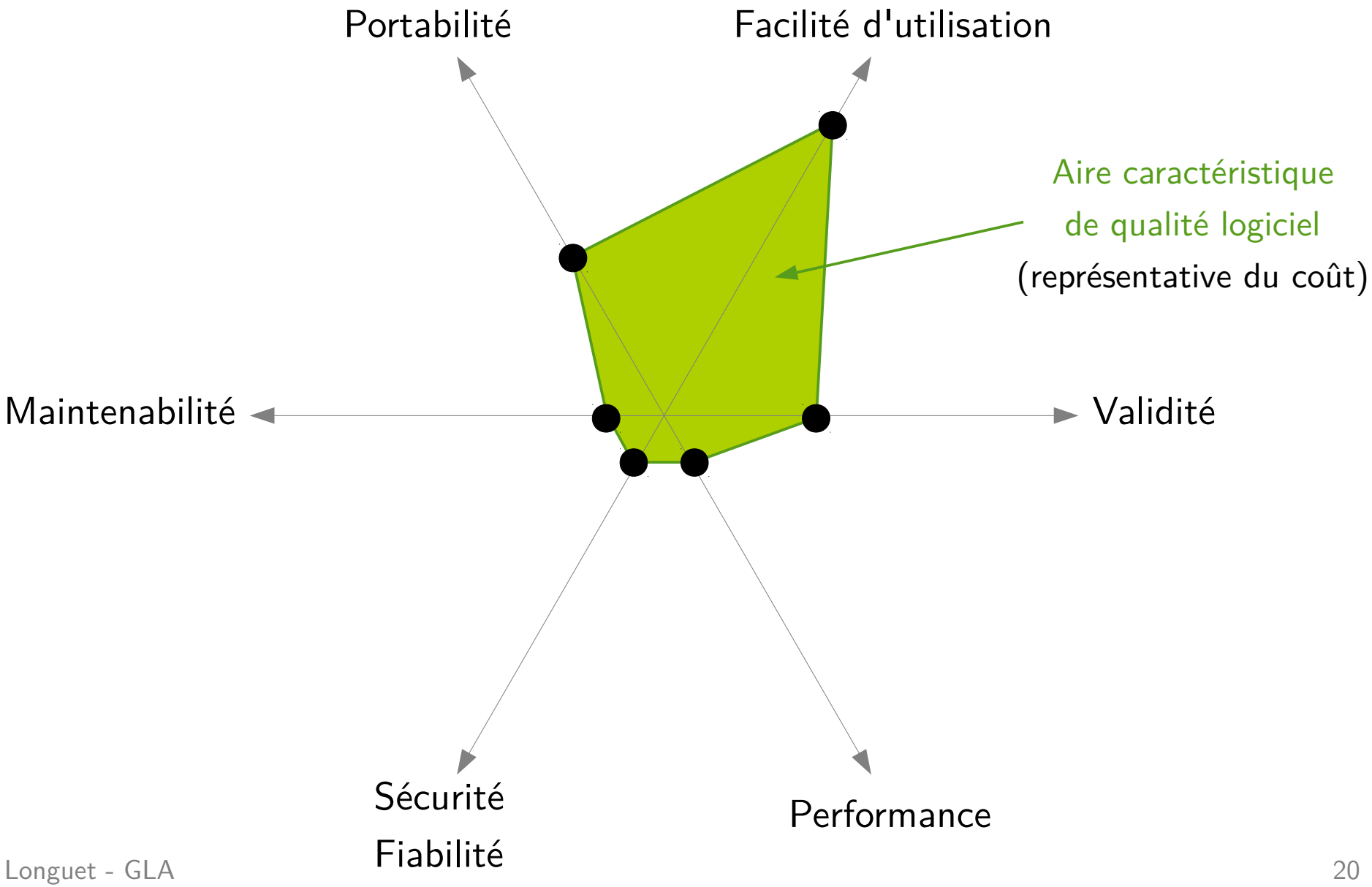
Génie civil, naval, aéronautique, mécanique, chimique...

Qualité du logiciel

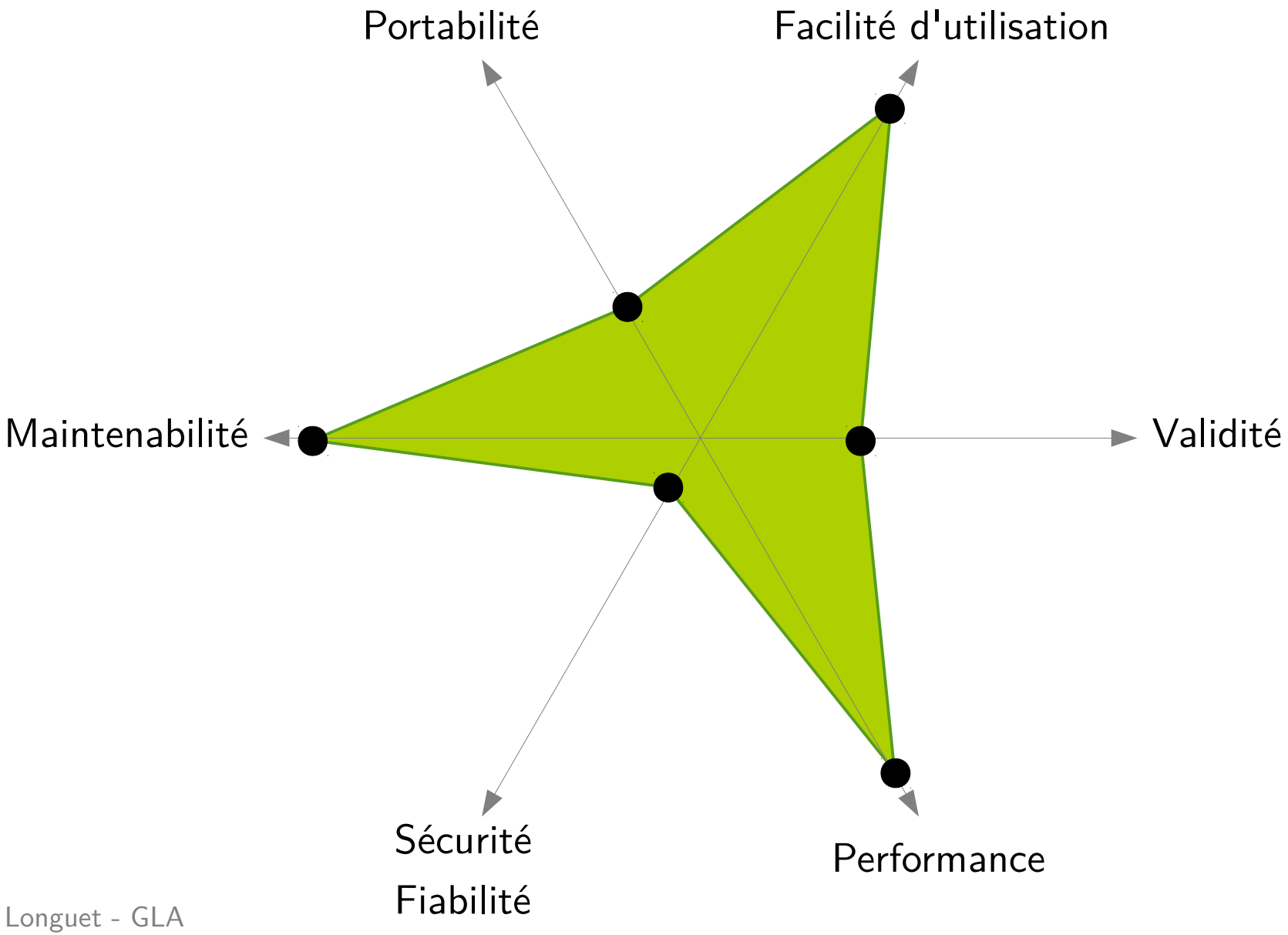
Critères de qualité

- Validité : réponse aux besoins des utilisateurs
- Facilité d'utilisation : prise en main et robustesse
- Performance : temps de réponse, débit, fluidité...
- Fiabilité : tolérance aux pannes
- Sécurité : intégrité des données et protection des accès
- Maintenabilité : facilité à corriger ou transformer le logiciel
- Portabilité : changement d'environnement matériel ou logiciel

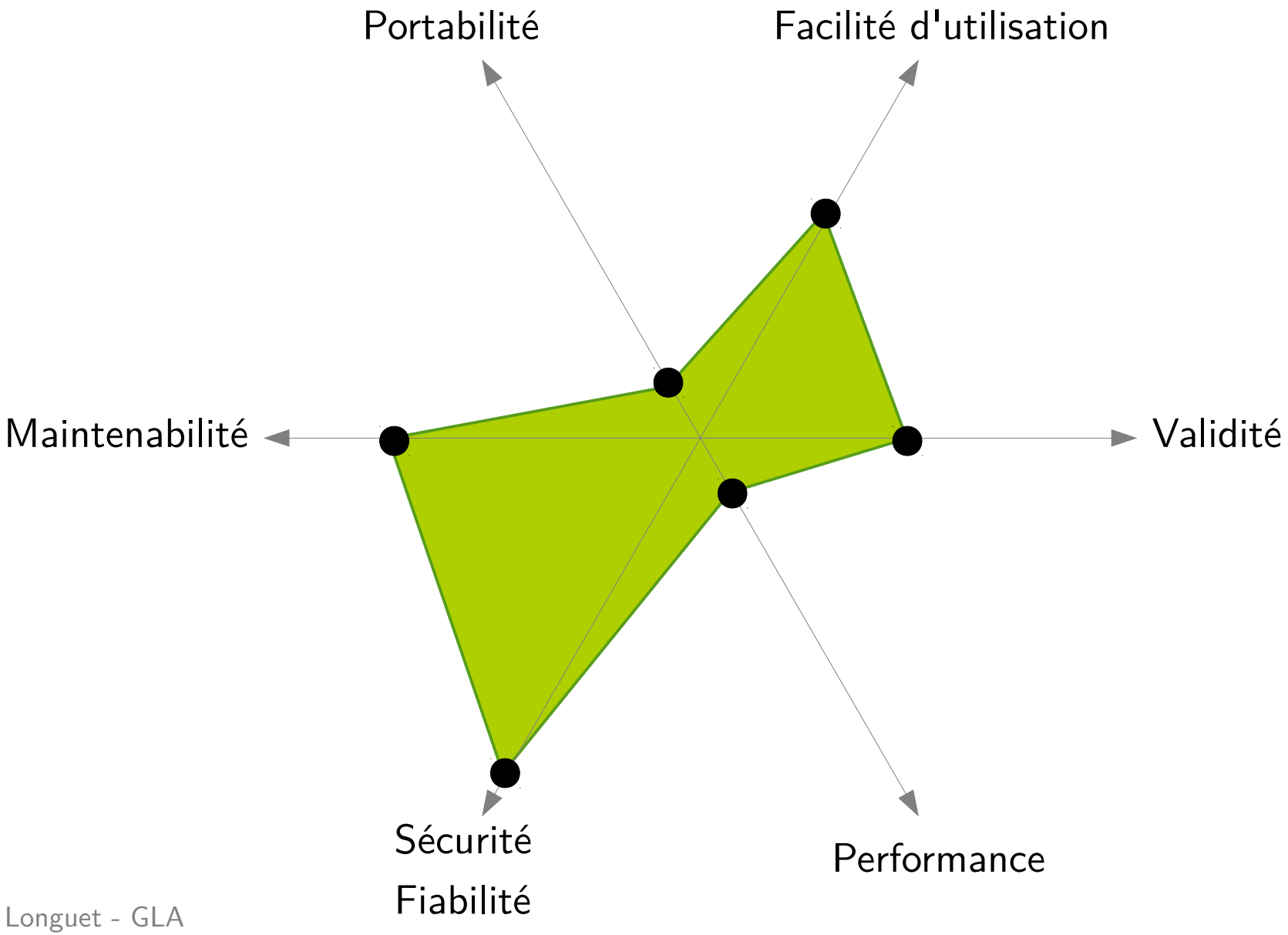
Contrôleur de télécommande



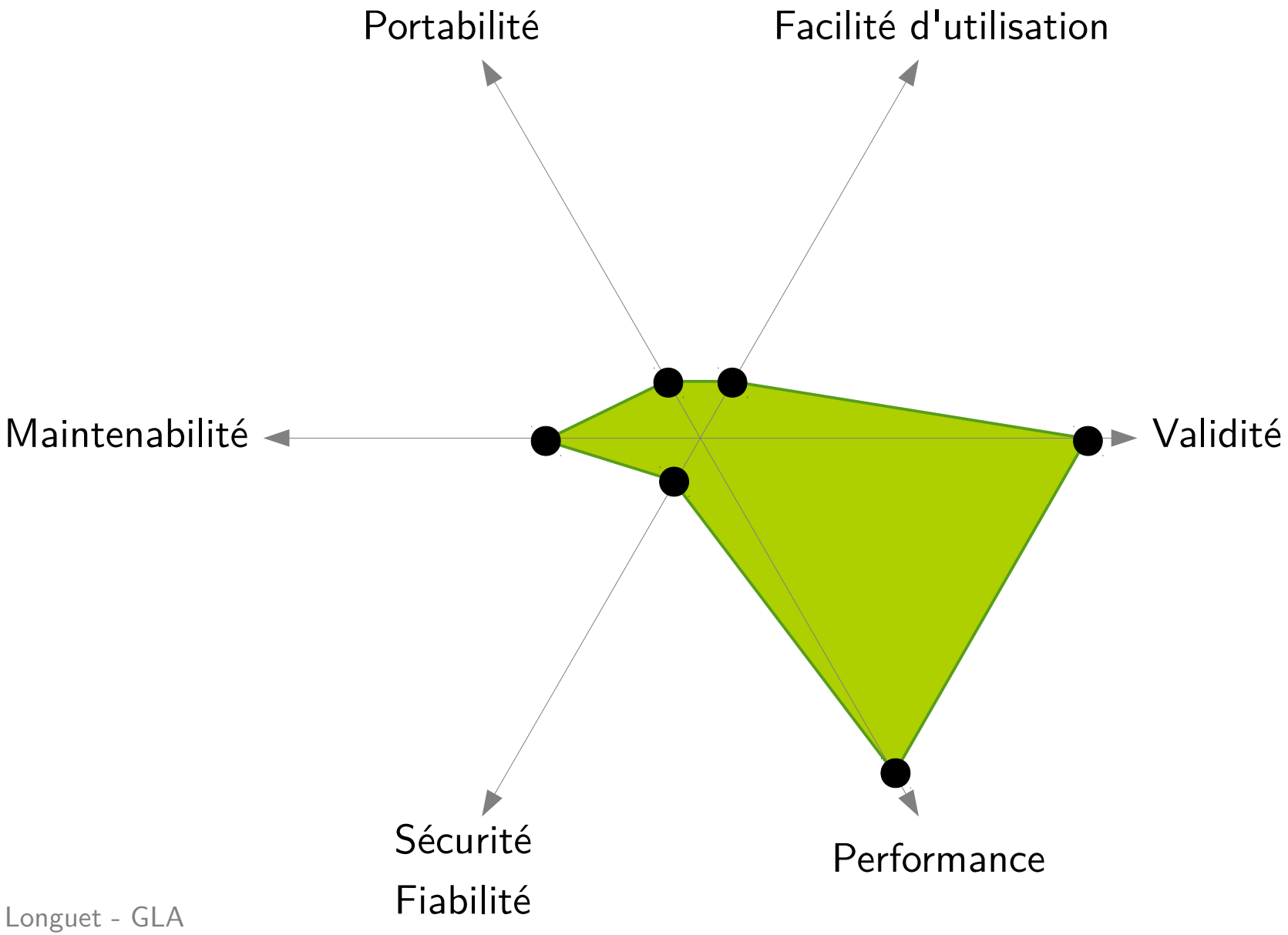
Jeu vidéo


Portabilité
Facilité d'utilisation
Maintenabilité
Validité
Sécurité
Fiabilité
Performance

Client mail


Portabilité
Facilité d'utilisation
Maintenabilité
Validité
Sécurité
Fiabilité
Performance

Simulateur pour Météo France



Processus de développement logiciel

Activités du développement logiciel

- Analyse des besoins
- Spécification
- Conception
- Programmation
- Validation et vérification
- Livraison
- Maintenance

Pour chaque activité : Utilisation et production de documents

Activités du développement logiciel

Analyse des besoins : Comprendre les besoins du client

- Objectifs généraux, environnement du futur système, ressources disponibles, contraintes de performance...
- Fournie par le client (expert du domaine d'application, futur utilisateur...)

Spécification :

- Établir une description claire de ce que doit faire le logiciel (fonctionnalités détaillées, exigences de qualité, interface...)
- Clarifier le cahier des charges (ambiguïtés, contradictions) en listant les exigences fonctionnelles et non fonctionnelles

Activités du développement logiciel

Conception : Élaborer une solution concrète réalisant la spécification

- Description architecturale en composants (avec interface et fonctionnalités)
- Réalisation des fonctionnalités par les composants (algorithmes, organisation des données)
- Réalisation des exigences non fonctionnelles (performance, sécurité...)

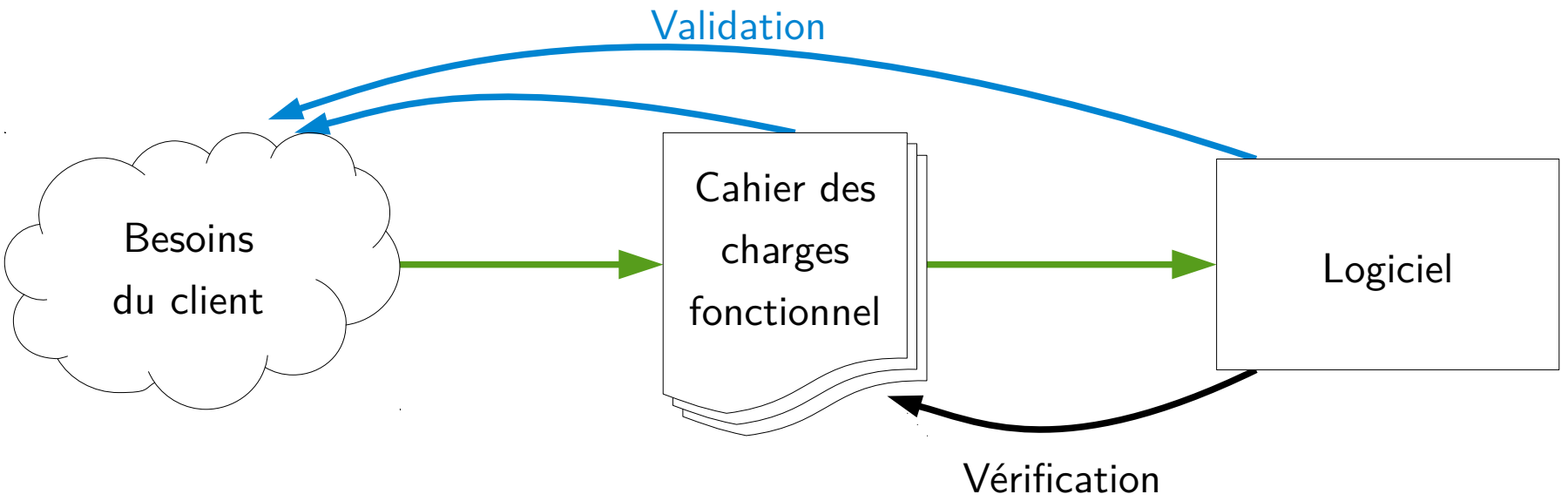
Programmation : Implantation de la solution conçue

- Choix de l'environnement de développement, du/des langage(s) de programmation, de normes de développement...

Validation et vérification

Validation : assurer que les besoins du client sont satisfaits (au niveau de la spécification, du produit fini...)

Vérification : assurer que le logiciel satisfait sa spécification



Maintenance

Types de maintenance :

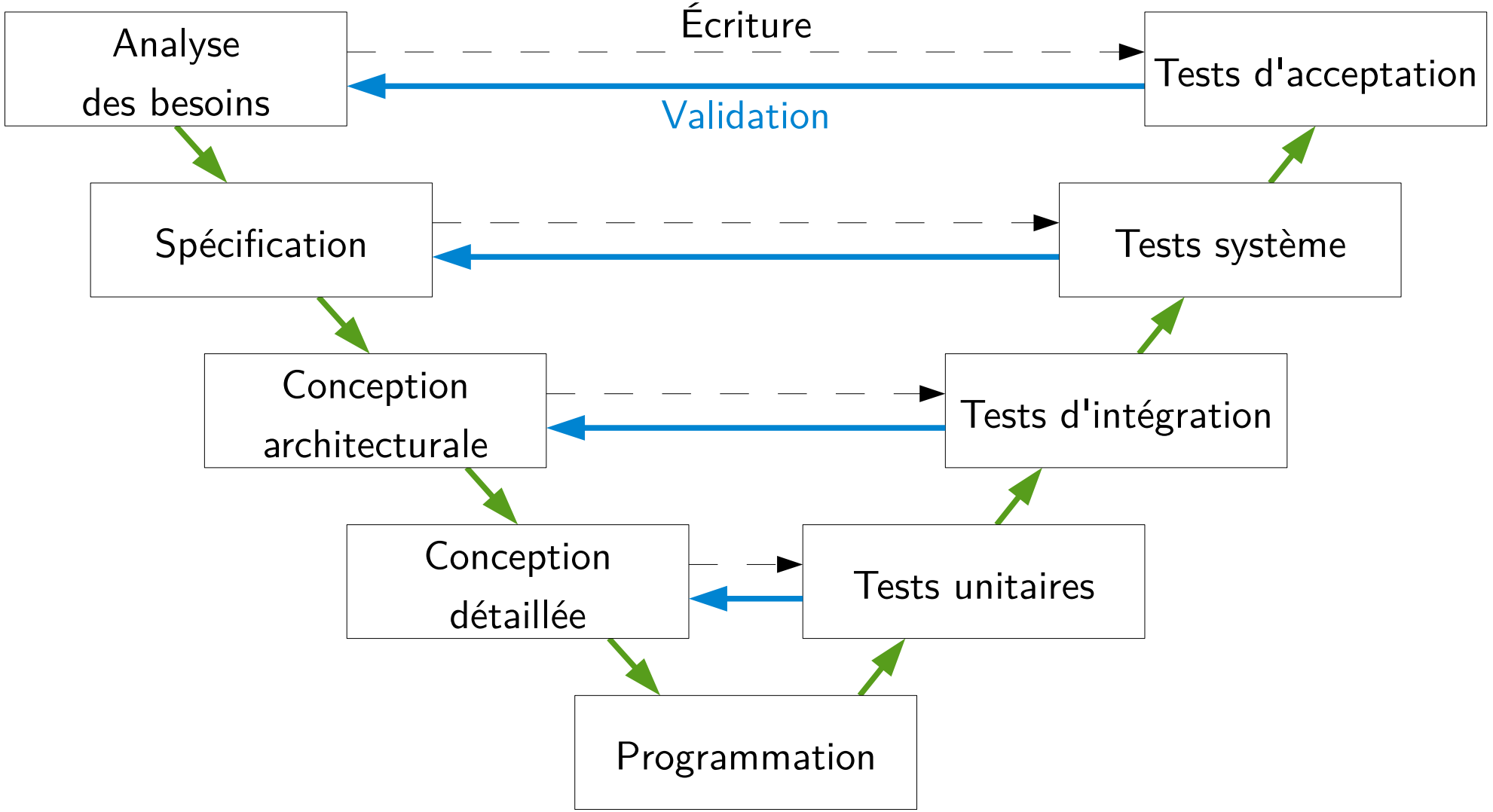
- Correction : identifier et corriger des erreurs trouvées après la livraison
- Adaptation : adapter le logiciel aux changements dans l'environnement (format des données, environnement d'exécution...)
- Perfection : améliorer la performance, ajouter des fonctionnalités, améliorer la maintenabilité du logiciel

Processus en V

Caractéristiques :

- Variante du modèle en cascade
- Mise en évidence de la complémentarité des phases menant à la réalisation et des phases de test permettant de les valider

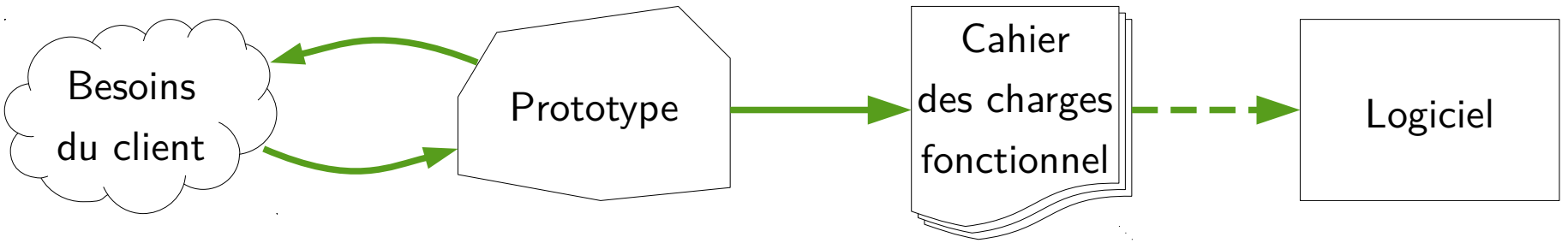
Processus en V



Développement par prototypage

Principe :

- Développement rapide d'un prototype avec le client pour valider ses besoins
- Écriture de la spécification à partir du prototype, puis processus de développement linéaire



Avantage : Validation concrète des besoins, moins de risques d'erreur de spécification

Méthodes agiles et *extreme programming*

Principes :

- Implication constante du client
- Programmation en binôme (revue de code permanente)
- Développement dirigé par les tests
- Cycles de développement rapides pour réagir aux changements

Avantages : développement rapide en adéquation avec les besoins

Inconvénients : pas de spécification, documentation = tests, maintenance ?

Fonctionne pour petites équipes de développement (< 20) car communication cruciale

Documentation de spécification et conception

Documentation

Objectif : Traçabilité du projet

Pour l'équipe :

- Regrouper et structurer les décisions prises
- Faire référence pour les décisions futures
- Garantir la cohérence entre les modèles et le produit

Pour le client :

- Donner une vision claire de l'état d'avancement du projet

Base commune de référence :

- Personne quittant le projet : pas de perte d'informations
- Personne rejoignant le projet : intégration rapide

Documents de spécification et conception

Rédaction : le plus souvent en langage naturel (français)

Problèmes :

- Ambiguïtés : plusieurs sens d'un même mot selon les personnes ou les contextes
- Contradictions, oublis, redondances difficiles à détecter
- Difficultés à trouver une information
- Mélange entre les niveaux d'abstraction (spécification vs. conception)

Documents de spécification et conception

Alternatives au langage naturel

Langages informels :

- **Langage naturel structuré** : modèles de document et règles de rédaction précis et documentés
- **Pseudo-code** : description algorithmique de l'exécution d'une tâche, donnant une vision opérationnelle du système

Langages semi-formels :

- **Notation graphique** : diagrammes accompagnés de texte structuré, donnant une vue statique ou dynamique du système

Langages formels :

- **Formalisme mathématique** : propriétés logiques ou modèle du comportement du système dans un langage mathématique

Documents de spécification et conception

Langages informels ou semi-formels :

- ✔ Avantages : intuitifs, fondés sur l'expérience, facile à apprendre et à utiliser, répandus
- ✗ Inconvénients : ambigus, pas d'analyse systématique

Langages formels :

- ✔ Avantages : précis, analysables automatiquement, utilisables pour automatiser la vérification et le test du logiciel
- ✗ Inconvénients : apprentissage et maîtrise difficiles

En pratique : utilisation de langages formels principalement pour logiciels critiques, ou restreinte aux parties critiques du système

Documents de spécification et conception

Langages informels ou semi-formels :

- ✔ Avantages : intuitifs, fondés sur l'expérience, facile à apprendre et à utiliser, répandus
- ✗ Inconvénients : ambigus, pas d'analyse systématique

Langages formels :

- ✔ Avantages : précis, analysables automatiquement, utilisables pour automatiser la vérification et le test du logiciel
- ✗ Inconvénients : apprentissage et maîtrise difficiles

Dans ce cours :

- UML + langage mathématique orienté objet
- Langage de spécification de programmes

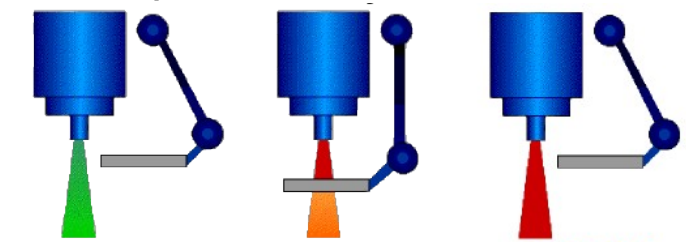
Validation et vérification

Bugs célèbres

Sonde Mariner 1, 1962

- Détruite 5 minutes après son lancement; coût : $18,5 millions
- Défaillance des commandes de guidage due à une erreur de spécification
- Erreur de transcription manuelle d'un symbole mathématique dans la spécification

Therac-25, 1985-87



- Au moins 5 morts par dose massive de radiations
- Problème d'accès concurrents dans le contrôleur

Processeur Pentium, 1994

- Bug dans la table de valeurs utilisée par l'algorithme de division

Ariane V vol 501, 1996

- Explosion après 40 secondes de vol; coût : $370 millions
- Panne du système de navigation due à un dépassement de capacité (arithmetic overflow)
- Réutilisation d'un composant d'Ariane IV non re-testé

Plus récemment

PlayStation Network, avril 2011

- Des millions de données personnelles et bancaires piratées
- Pertes financières de plusieurs milliards de dollars
- Vulnérabilité du réseau connue mais conséquences mal évaluées ?

Outil de chiffrement OpenSSL, mars 2014

- 500 000 serveurs web concernés par la faille
- Vulnérabilité permettant de lire une portion de la mémoire d'un serveur distant

Pourquoi des méthodes pour valider et vérifier ?

Pour réduire le coût

- Vérification et validation =
  - environ 30% du développement d'un logiciel standard
  - plus de 50% du développement d'un logiciel critique
- Phase de test souvent plus longue que les phases de spécification, conception et implantation réunies

Pour certifier la qualité

- Processus de certification, de normalisation
- Obligations légales

Validation et vérification

Validation : assurer que les attentes du client sont satisfaites

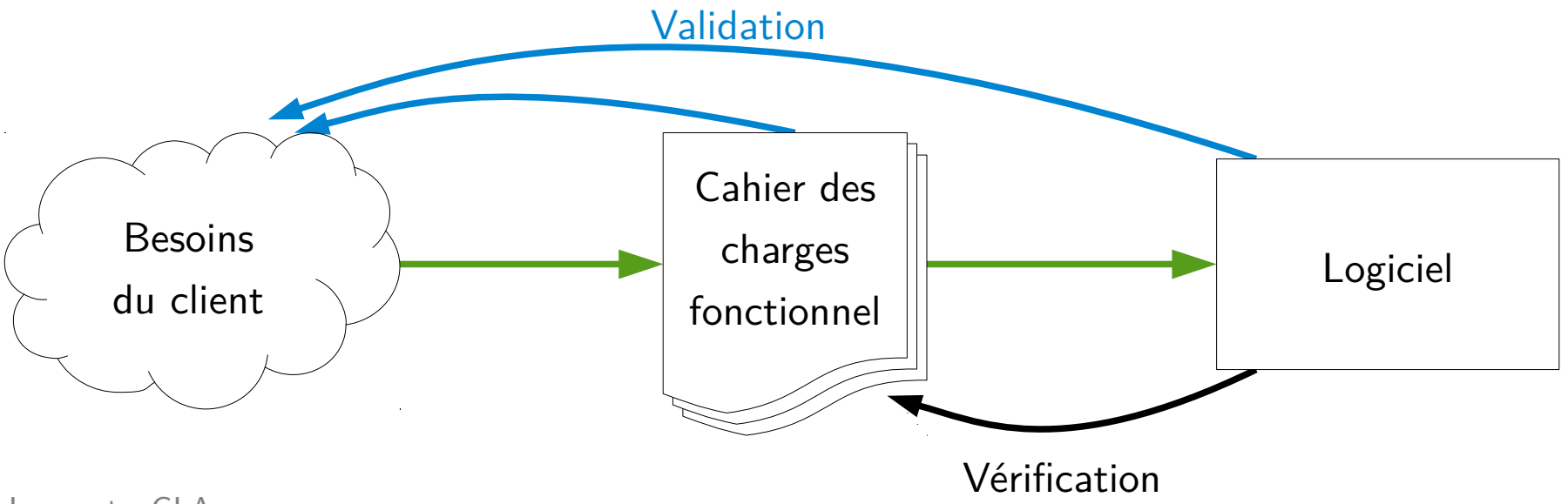
« Are we building the right product ? »

Assurance d'un certain niveau de confiance dans le système

Vérification : assurer que le système satisfait sa spécification

« Are we building the product right ? »

Preuve formelle de propriétés sur un modèle du système



Méthodes de validation et vérification

Méthodes de validation :

- Revue de spécification, de code
- Prototypage rapide
- Développement de tests exécutables (*extreme programming*)
- Recette (tests d'acceptation faits par le client)

Méthodes de vérification :

- Test formel (à partir de la spécification)
- Preuve de programmes
- Model-checking

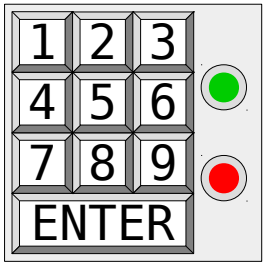
Quelques méthodes de V&V

Test : exécution d'un programme sur des données choisies dans le but de détecter des non-conformités par rapport à la spécification (cahier des charges fonctionnel)

Model-checking : analyse d'un modèle du programme dans le but de prouver mathématiquement qu'il vérifie certaines propriétés dynamiques

Preuve de programmes : preuve mathématique qu'un programme satisfait sa spécification en termes de pré- et post-conditions

Exemple : test

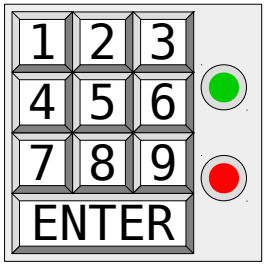


Code d'accès :

- 4 chiffres consécutifs dans l'ordre croissant
- Saisie des chiffres puis validation.
- Accès autorisé s'il existe une suite de 4 chiffres consécutifs dans la suite saisie.

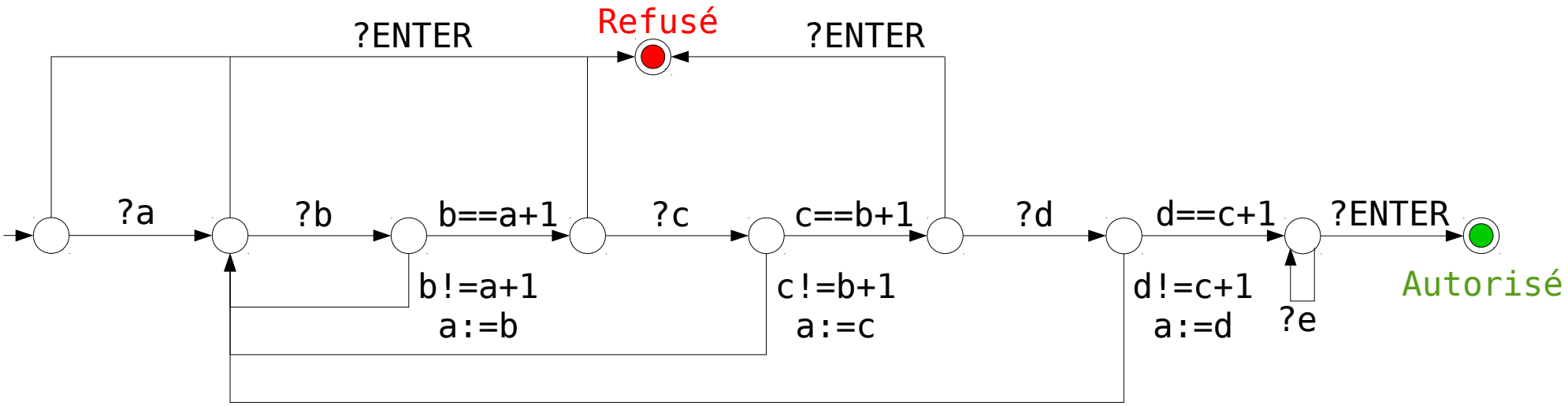
Objectif de test	Données d'entrée	Résultat attendu
4 chiffres consécutifs	1234 + ENTER	Autorisé
Avec des chiffres avant	846789 + ENTER	Autorisé
Avec des chiffres après	3456298 + ENTER	Autorisé
Avec des chiffres avant et après	32345698 + ENTER	Autorisé
Dans l'ordre décroissant	6543 + ENTER	Refusé
Pas consécutifs	2356 + ENTER	Refusé
Moins de 4 chiffres	345 + ENTER	Refusé
Vide	ENTER	Refusé
Oubli de ENTER	5678	Aucun

Exemple : model-checking



Code d'accès :

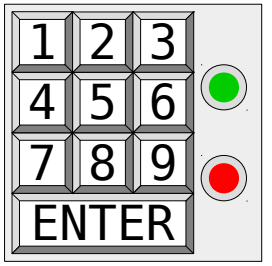
- 4 chiffres consécutifs dans l'ordre croissant
- Saisie des chiffres puis validation.
- Accès autorisé s'il existe une suite de 4 chiffres consécutifs dans la suite saisie.



Propriété à démontrer : `Autorisé => a!=0 /\ b=a+1 /\ c=a+2 /\ d=a+3 /\ ENTER`

(Variables : `a, b, c, d, e = 0` ; `ENTER = false`)

Exemple : preuve



Code d'accès :

- 4 chiffres consécutifs dans l'ordre croissant
- Saisie des chiffres puis validation.
- Accès autorisé s'il existe une suite de 4 chiffres consécutifs dans la suite saisie.

```
/*@ requires \valid(t+(0..n-1)) && 1 <= n;
  @ ensures \result <==> \exists integer k; 0 <= k < n
                                  ==> \forall integer j; 0 < j <= 3 ==> t[k] == t[k-j]+j;
  @*/

int verifCode(int t[], int n) {
     int res = 0;
     int i = 1;
     /*@ loop invariant \forall integer j; 0 < j <= res ==> t[i-1] == t[i-1-j]+j;
       @ loop invariant 0 <= res <= 3 && 1 <= i <= n;
       @*/
     while(res < 3 && i < n) {
          if(t[i] == t[i-1]+1) {
               res = res+1; i = i+1;
          } else {
               res = 0; i = i+1;
          }
     }
     return(res == 3);
}
```

Comparaison des méthodes de V&V

Test :

- ✔ Nécessaire : exécution du système réel, découverte d'erreurs à tous les niveaux (spécification, conception, implantation)
- ✗ Pas suffisant : exhaustivité impossible

Model-checking :

- ✔ Exhaustif, partiellement automatique
- ✗ Mise en œuvre moyennement difficile (modèles formels, logique)

Preuve :

- ✔ Exhaustif
- ✗ Mise en œuvre difficile, limitation de taille

Comparaison des méthodes de V&V

Méthodes complémentaires :

- Test non exhaustif mais facile à mettre en œuvre
- Preuve exhaustive mais très technique
- Model-checking exhaustif et moins technique que la preuve

Mais :

- Preuve et model-checking limités par la taille du système et vérifient des propriétés sur un modèle du système (distance entre le modèle et le système réel ?)
- Test repose sur l'exécution du système réel, quelle que soit sa taille et sa complexité

Plan du cours

I. Rappels d'UML, langage de contraintes et spécification d'opérations

II. Test de logiciels : test fonctionnel et test structurel (2 TP)

III. Preuve de programmes (1 TP)