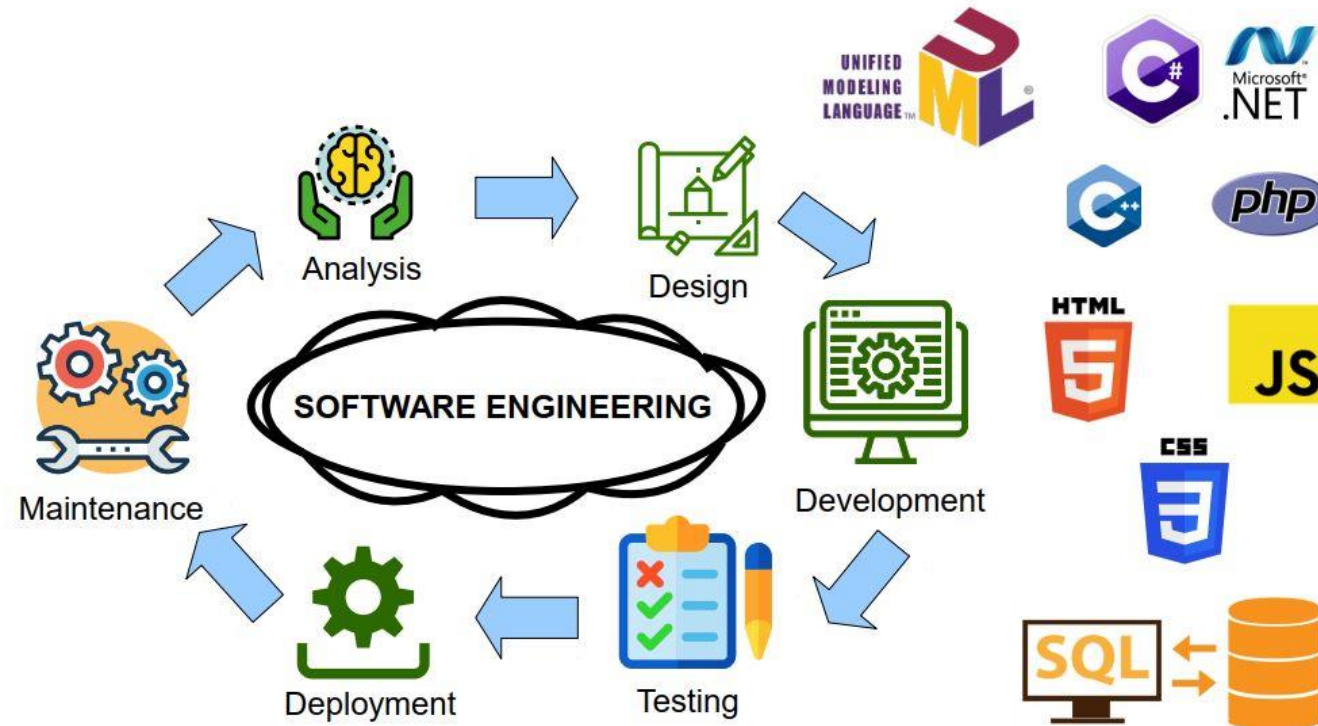


Ingénierie des Exigences



Dr El Hadji Bassirou TOURE

Université Cheikh Anta Diop de Dakar

2024 - 2025

Thèmes abordés

- Exigences fonctionnelles et non fonctionnelles
- Processus d'ingénierie des exigences
 - Élicitation des exigences
 - Spécification des exigences
 - Validation des exigences
 - Modification des exigences

Ingénierie des exigences (IE)

- Le processus d'établissement des services qu'un client attend d'un système et les contraintes dans lesquelles il fonctionne et est développé.
- Les exigences du système sont les descriptions des services et des contraintes du système qui sont générées au cours du processus d'ingénierie des exigences.

Qu'est ce qu'une exigence ?

- Elle peut aller d'une déclaration abstraite de haut niveau d'un service ou d'une contrainte de système à une spécification fonctionnelle mathématique détaillée.
- Cette situation est inévitable car les exigences peuvent avoir une double fonction
 - Peut constituer la base d'une offre pour un contrat - doit donc être ouvert à l'interprétation ;
 - Peut être la base du contrat lui-même - doit donc être défini en détail ;

Types d'exigence

- Besoins des utilisateurs
 - Déclarations en langage naturel et diagrammes des services fournis par le système et de ses contraintes opérationnelles. Rédigé pour les clients.
- Exigences du système
 - Document structuré décrivant en détail les fonctions, les services et les contraintes opérationnelles du système. Il définit ce qui doit être mis en œuvre et peut donc faire partie d'un contrat entre le client et l'entrepreneur.

Besoins utilisateurs et exigences systèmes

- Définition des besoins utilisateurs

- B1 : Le système Mentcare doit générer des rapports de gestion mensuels indiquant le coût des médicaments prescrits par chaque clinique au cours de ce mois.

- Définition des exigences systèmes

- 1.1 Le dernier jour ouvrable de chaque mois, un résumé des médicaments prescrits, de leur coût et des cliniques prescriptrices doit être généré.
 - 1.2 Le système doit générer le rapport pour impression après 17h30 le dernier jour ouvrable du mois.
 - 1.3 Un rapport doit être créé pour chaque clinique et doit inclure les noms individuels des médicaments, le nombre total d'ordonnances, le nombre de doses prescrites et le coût total des médicaments prescrits.
 - 1.4 Si des médicaments sont disponibles sous différentes unités de dosage (par exemple, 10 mg, 20 mg, etc.), des rapports distincts doivent être créés pour chaque unité de dosage.
 - 1.5 L'accès aux rapports sur le coût des médicaments doit être limité aux utilisateurs autorisés figurant sur une liste de contrôle d'accès de gestion.

Lecteurs des différents types de spécifications

- Besoins des utilisateurs
 - Gestionnaires clients
 - Utilisateurs finaux du système
 - Analystes
 - Gestionnaires de sous-traitants
 - Architectes système
- Exigences du système
 - Utilisateurs finaux du système
 - Analystes
 - Architectes système
 - Développeurs de logiciels

Parties prenantes

Toute personne ou organisation affectée par le système d'une manière ou d'une autre et qui a donc un intérêt légitime.

- Types de parties prenantes
 - Utilisateurs finaux
 - Gestionnaires de systèmes
 - Propriétaires de systèmes
 - Parties prenantes externes

Parties prenantes du système Mentcare

- Patients dont les informations sont enregistrées dans le système.
- Médecins chargés d'évaluer et de traiter les patients.
- Les infirmières qui coordonnent les consultations avec les médecins et administrent certains traitements.
- Les réceptionnistes médicaux qui gèrent les rendez-vous des patients.
- Le personnel informatique chargé de l'installation et de la maintenance du système.
- Etc.

Méthodes Agile et Ingénierie des Exigences

- La production d'exigences détaillées est vue comme une perte de temps, car les exigences changent très rapidement.
- Le cahier des charges est donc toujours obsolète.
- Les méthodes agiles utilisent généralement l'ingénierie incrémentale des exigences et peuvent exprimer les exigences sous forme de user stories (récits d'utilisateurs).
- Cette solution est pratique pour les systèmes commerciaux, mais problématique pour les systèmes qui nécessitent une analyse avant livraison (par exemple, les systèmes critiques) ou les systèmes développés par plusieurs équipes.

Exigences fonctionnelles et non fonctionnelles

Exigences fonctionnelles et non fonctionnelles

- Exigences fonctionnelles
 - Énoncés des services que le système doit fournir, de la manière dont le système doit réagir à des entrées particulières et de la manière dont le système doit se comporter dans des situations particulières.
 - Peut indiquer ce que le système ne doit pas faire.
- Exigences non fonctionnelles
 - Contraintes sur les services ou les fonctions offerts par le système, telles que les contraintes de temps, les contraintes sur le processus de développement, les normes, etc.
 - S'appliquent souvent au système dans son ensemble plutôt qu'à des caractéristiques ou des services individuels.
- Exigences du domaine
 - Contraintes imposées au système par le domaine d'exploitation

Exigences et besoins fonctionnels

- Décrire la fonctionnalité ou les services du système.
- Dépendent du type de logiciel, des utilisateurs prévus et du type de système dans lequel le logiciel est utilisé.
- Les besoins fonctionnels de l'utilisateur peuvent être des déclarations de haut niveau sur ce que le système doit faire.
- Les exigences fonctionnelles du système doivent décrire en détail les services du système.

Systèmes Mentcare : Exigences et besoins fonctionnels

- Un utilisateur doit pouvoir effectuer des recherches dans les listes de rendez-vous de toutes les cliniques.
- Le système génère chaque jour, pour chaque clinique, une liste des patients qui sont censés se rendre à leur rendez-vous ce jour-là.
- Chaque membre du personnel utilisant le système est identifié de manière unique par son numéro d'employé à 8 chiffres.

Imprécision des exigences

- Les problèmes surviennent lorsque les exigences fonctionnelles ne sont pas énoncées avec précision.
- Les exigences ambiguës peuvent être interprétées de différentes manières par les développeurs et les utilisateurs.
- Considérons le terme "recherche" dans l'exigence 1
 - Intention de l'utilisateur - recherche d'un nom de patient dans tous les rendez-vous de toutes les cliniques ;
 - Interprétation du développeur - recherche d'un nom de patient dans une clinique particulière. L'utilisateur choisit la clinique puis la recherche.

Exhaustivité et cohérence des exigences

- En principe, les exigences doivent être à la fois complètes et cohérentes.
- Compléter
 - Ils doivent comprendre une description de toutes les fonctionnalités nécessaires.
- Cohérent
 - Il ne doit pas y avoir de conflits ou de contradictions dans les descriptions des fonctionnalités du système.
- Dans la pratique, en raison de la complexité des systèmes et de l'environnement, il est impossible de produire un document d'exigences complet et cohérent.

Exigences non fonctionnelles

- Elles définissent les propriétés et les contraintes du système, par exemple la fiabilité, le temps de réponse et les exigences en matière de stockage.
- Des exigences de processus peuvent également être spécifiées, imposant un IDE, un langage de programmation, etc.
- Les exigences non fonctionnelles peuvent être plus critiques que les exigences fonctionnelles. Si elles ne sont pas satisfaites, le système peut s'avérer inutile.

Mise en œuvre des exigences non fonctionnelles

- Les exigences non fonctionnelles peuvent affecter l'architecture globale d'un système plutôt que les composants individuels.
- Par exemple, pour s'assurer que les exigences de performance sont respectées, il peut être nécessaire d'organiser le système de manière à minimiser les communications entre les composants.
- Une exigence non fonctionnelle unique, telle qu'une exigence de sécurité, peut générer un certain nombre d'exigences fonctionnelles connexes qui définissent les services système requis.

Classification non fonctionnelles

- Exigences relatives aux produits
 - Exigences qui spécifient que le produit livré doit se comporter d'une manière particulière, par exemple vitesse d'exécution, fiabilité, etc.
- Exigences organisationnelles
 - Exigences découlant des politiques et procédures organisationnelles, par exemple les normes de processus utilisées, les exigences de mise en œuvre, etc.
- Exigences externes
 - Exigences découlant de facteurs externes au système et à son processus de développement, par exemple les exigences d'interopérabilité, les exigences législatives, etc.

Exemples d'exigences non fonctionnelles dans Mentcare

- Exigences relatives au produit
 - Le système Mentcare doit être accessible à toutes les cliniques pendant les heures de travail normales (du lundi au vendredi, de 8 h 30 à 17 h 30).
 - Les temps d'arrêt pendant les heures normales de travail ne doivent pas dépasser cinq secondes par jour.
- Exigence organisationnelle
 - Les utilisateurs du système Mentcare s'authentifient à l'aide de la carte d'identité de l'autorité sanitaire.
- Exigence externe
 - Le système doit mettre en œuvre les dispositions relatives à la protection de la vie privée des patients énoncées dans le document SN-03-2024-priv.

Objectifs et exigences

- Les exigences non fonctionnelles peuvent être très difficiles à formuler avec précision et les exigences imprécises peuvent être difficiles à vérifier.
- Objectif (non précis généralement, sujet à interprétation)
 - L'intention générale de l'utilisateur, telle que la facilité d'utilisation.
- Transformer en une exigence non fonctionnelle vérifiable
 - Une déclaration utilisant une mesure qui peut être testée objectivement.
- Dans la mesure du possible, vous devriez rédiger les exigences non fonctionnelles de manière quantitative afin qu'elles puissent être testées objectivement.

Métriques pour la spécification des exigences non fonctionnelles

Propriété	Mesure
Vitesse	Transactions traitées/seconde Temps de réponse de l'utilisateur/de l'événement Temps de rafraîchissement de l'écran
Taille	Mbytes
Facilité d'utilisation	Temps de formation
Fiabilité	Délai moyen de défaillance Probabilité d'indisponibilité Taux d'occurrence des défaillances Disponibilité
Robustesse	Délai de redémarrage après un échec Pourcentage d'événements entraînant une défaillance Probabilité de corruption des données en cas de défaillance
Portabilité	Pourcentage de déclarations dépendantes de l'objectif Nombre de systèmes cibles

Exigence non fonctionnelle : facilité d'utilisation

- Objectif
 - Le système doit être facile à utiliser par le personnel médical et doit être organisé de manière à minimiser les erreurs d'utilisation.
- Exigence fonctionnelle vérifiable (testable)
 - Le personnel médical doit être en mesure d'utiliser toutes les fonctions du système après quatre heures de formation.
 - Après cette formation, le nombre moyen d'erreurs commises par les utilisateurs expérimentés ne doit pas dépasser deux par heure d'utilisation du système.

Processus d'Ingénierie des Exigences

Processus d'ingénierie des exigences

- Les processus utilisés pour l'IE varient selon le domaine d'application, des personnes impliquées et de l'organisation qui élabore les exigences.
- Cependant, il existe un certain nombre d'activités génériques communes à tous les processus
 - Élicitation des besoins ;
 - Analyse des besoins ;
 - Validation des exigences ;
 - Gestion des exigences.
- Dans la pratique, l'IE est une activité itérative dans laquelle ces processus sont imbriqués.

Elicitation et analyse des besoins

- On parle parfois d'élicitation des besoins ou de découverte des besoins.
- Le personnel technique travaille avec les clients pour découvrir
 - Le domaine d'application,
 - Les services que le système doit fournir
 - Les contraintes opérationnelles du système.
- Il peut s'agir d'utilisateurs finaux, de gestionnaires, d'ingénieurs chargés de la maintenance, d'experts du domaine, de syndicats, etc. Ces personnes sont appelées "parties prenantes".

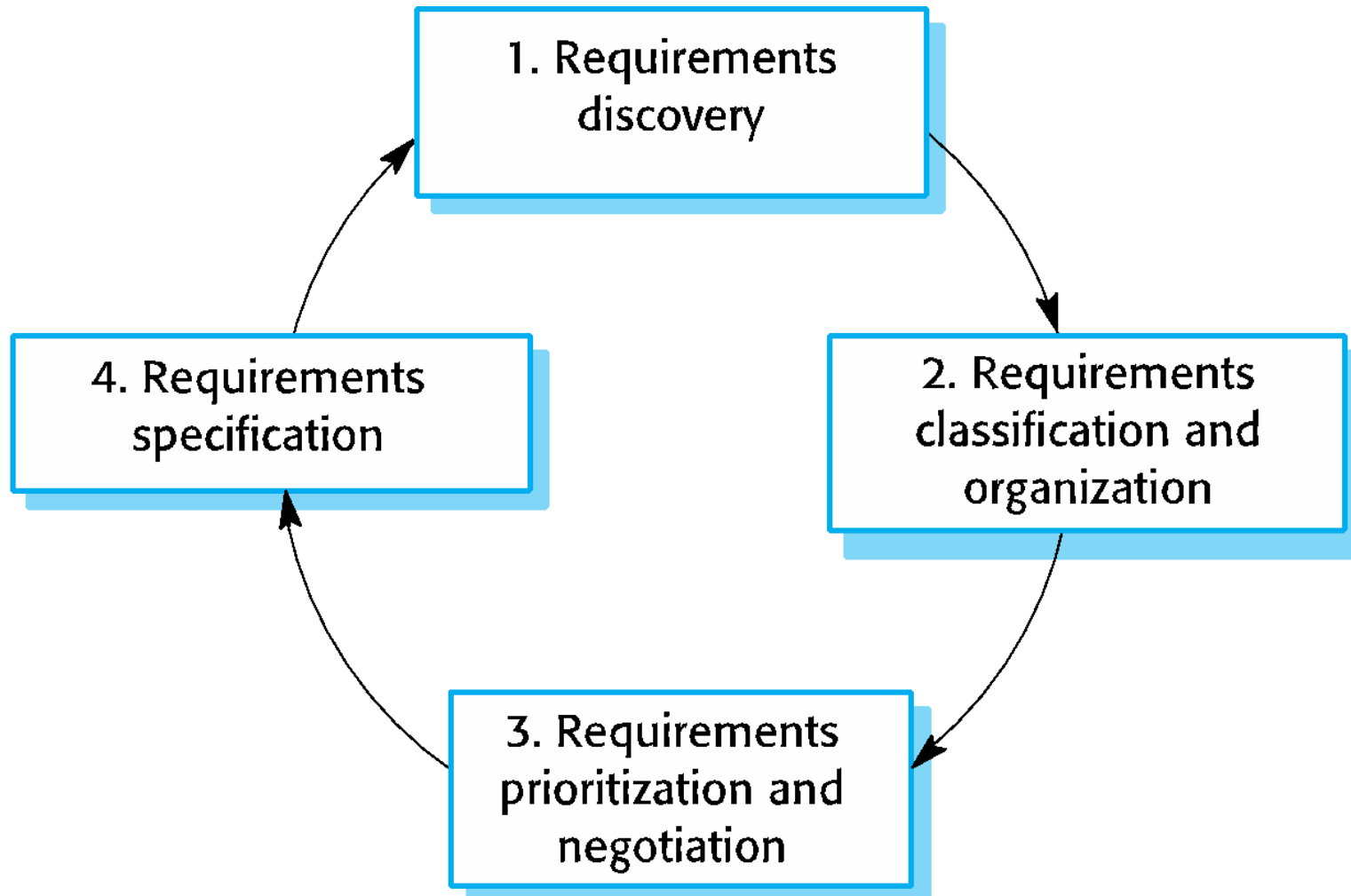
Elicitation des exigences

- Les ingénieurs logiciels travaillent avec une série d'acteurs du système pour se renseigner sur le domaine d'application, les services que le système doit fournir, les performances requises du système, les contraintes matérielles, les autres systèmes, etc.
- Les étapes comprennent
 - Découverte des besoins,
 - Classification et organisation des besoins,
 - Hiérarchisation et négociation des exigences,
 - Spécification des exigences.

Problèmes liés à l'élaboration des exigences

- Les parties prenantes ne savent pas ce qu'elles veulent vraiment.
- Les parties prenantes expriment leurs besoins dans leurs propres termes.
- Différentes parties prenantes peuvent avoir des exigences contradictoires.
- Des facteurs organisationnels et politiques peuvent influencer les exigences du système.
- Les exigences changent au cours du processus d'analyse.
- De nouvelles parties prenantes peuvent apparaître et l'environnement de l'entreprise peut changer.

Le processus d'élicitation et d'analyse des besoins



Le processus d'élicitation et d'analyse des besoins

- Découverte des besoins
 - Interagir avec les parties prenantes pour découvrir leurs besoins. Les besoins métiers du domaine sont découvertes à ce stade.
- Classification et organisation des besoins
 - Regroupe les besoins connexes et les organise en groupes cohérents.
- Hiérarchisation et négociation
 - Hiérarchiser les exigences et résoudre les conflits d'exigences.
- Spécification des exigences
 - Les exigences sont documentées et introduites dans le cycle suivant.

Spécification des exigences

- Le processus de rédaction des exigences de l'utilisateur et du système dans un document d'exigences.
- Les exigences des utilisateurs doivent être compréhensibles par les utilisateurs finaux et les clients qui n'ont pas de connaissances techniques.
- Les exigences du système sont plus détaillées et peuvent inclure des informations plus techniques.
- Les exigences peuvent faire partie d'un contrat pour le développement du système
 - Il est donc important qu'ils soient aussi complets que possible.

Méthodes de rédaction d'une spécification des exigences d'un système

Notation	Description
Langage naturel	Les exigences sont rédigées en langage naturel à l'aide de phrases numérotées. Chaque phrase doit exprimer une exigence.
Langage naturel structuré	Les exigences sont rédigées en langage naturel sur un formulaire ou un modèle standard. Chaque champ fournit des informations sur un aspect de l'exigence.
Langages de description de spécification	Cette approche utilise un langage semblable à un langage de programmation, mais avec des caractéristiques plus abstraites pour spécifier les exigences en définissant un modèle opérationnel du système. Cette approche est aujourd'hui rarement utilisée, bien qu'elle puisse être utile pour les spécifications d'interface.
Notations graphiques	Des modèles graphiques, complétés par des annotations textuelles, sont utilisés pour définir les exigences fonctionnelles du système ; les diagrammes de cas d'utilisation et de séquence UML sont couramment utilisés.
Spécifications mathématiques	Ces notations sont basées sur des concepts mathématiques tels que les machines à états finis ou les ensembles. Bien que ces spécifications non ambiguës puissent réduire l'ambiguïté d'un document d'exigences, la plupart des clients ne comprennent pas une spécification formelle. Ils ne peuvent pas vérifier qu'elle représente ce qu'ils veulent et sont réticents à l'accepter en tant que contrat de système.

Analyse (exigences) et conception

- En principe, les exigences doivent indiquer ce que le système doit faire et la conception doit décrire comment il le fait.
- Dans la pratique, les exigences et la conception sont indissociables
 - Une architecture de système peut être conçue pour structurer les exigences ;
 - L'utilisation d'une architecture spécifique pour répondre à des exigences non fonctionnelles peut être une exigence du domaine.

Variabilité du document d'exigences

- Les informations contenues dans le document d'exigences dépendent du type de système et de l'approche de développement utilisée.
- Les systèmes développés de manière incrémentale seront généralement moins détaillés dans le document relatif aux exigences.
- Des normes relatives aux documents d'exigences ont été élaborées, par exemple la norme IEEE. Elles s'appliquent principalement aux exigences des grands projets d'ingénierie des systèmes.

Structure d'un document d'exigences

Chapitre	Description
Préface	Elle doit définir le lectorat attendu du document et décrire l'historique de ses versions, y compris une justification de la création d'une nouvelle version et un résumé des changements apportés à chaque version.
Introduction	Elle doit décrire la nécessité du système. Il doit décrire brièvement les fonctions du système et expliquer comment il fonctionnera avec d'autres systèmes. Il doit également décrire la manière dont le système s'inscrit dans les objectifs commerciaux ou stratégiques globaux de l'organisation qui commande le logiciel.
Glossaire	Il s'agit de définir les termes techniques utilisés dans le document. Vous ne devez pas présumer de l'expérience ou de l'expertise du lecteur.
Définition des besoins des utilisateurs	Vous décrivez ici les services fournis à l'utilisateur. Les exigences non fonctionnelles du système doivent également être décrites dans cette section. Cette description peut se faire en langage naturel, à l'aide de diagrammes ou d'autres notations compréhensibles pour les clients. Les normes de produit et de processus qui doivent être respectées doivent être spécifiées.
Architecture du système	Ce chapitre doit présenter une vue d'ensemble de l'architecture du système prévu, montrant la répartition des fonctions entre les modules du système. Les composants architecturaux réutilisés doivent être mis en évidence.

Structure d'un document d'exigences

Chapitre	Description
Spécification des exigences du système	Il s'agit de décrire plus en détail les exigences fonctionnelles et non fonctionnelles. Si nécessaire, des détails supplémentaires peuvent également être ajoutés aux exigences non fonctionnelles. Les interfaces avec d'autres systèmes peuvent être définies.
Modèles de systèmes	Il peut s'agir de modèles graphiques du système montrant les relations entre les composants du système, le système et son environnement. Les modèles d'objets, les modèles de flux de données ou les modèles de données sémantiques sont des exemples de modèles possibles.
Évolution du système	Elle doit décrire les hypothèses fondamentales sur lesquelles le système est basé, ainsi que les changements prévus en raison de l'évolution du matériel, de l'évolution des besoins des utilisateurs, etc. Cette section est utile aux concepteurs du système car elle peut les aider à éviter des décisions de conception qui limiteraient les modifications futures probables du système.
Annexes	Elles doivent fournir des informations détaillées et spécifiques liées à l'application en cours de développement ; par exemple, des descriptions du matériel et de la base de données. Les exigences en matière de matériel définissent les configurations minimales et optimales du système. Les exigences relatives à la base de données définissent l'organisation logique des données utilisées par le système et les relations entre les données.
Index	Plusieurs index du document peuvent être inclus. Outre un index alphabétique normal, il peut y avoir un index des diagrammes, un index des fonctions, etc.

Validation des exigences

- Il s'agit de démontrer que les exigences définissent le système réellement souhaité par le client.
- Les coûts liés aux erreurs dans les exigences sont élevés, la validation est donc très importante.
- La correction d'une erreur d'exigence après la livraison peut coûter jusqu'à 100 fois le coût de la correction d'une erreur de mise en œuvre.

Vérification des exigences

- Validité
 - Le système fournit-il les fonctions qui répondent le mieux aux besoins du client ?
- Cohérence
 - Existe-t-il des conflits d'exigences ?
- L'exhaustivité
 - Toutes les fonctions requises par le client sont-elles incluses ?
- Réalisme
 - Les exigences peuvent-elles être mises en œuvre compte tenu du budget et de la technologie disponibles ?
- Vérifiabilité
 - Les exigences peuvent-elles être vérifiées ?

Techniques de validation des exigences

- Examen des exigences
 - Analyse manuelle systématique des besoins.
- Prototypage
 - Utilisation d'un modèle exécutable du système pour vérifier les exigences
- Génération de cas de test
 - Développer des tests pour les exigences afin de vérifier la testabilité

Contrôles de révision

- Vérifiabilité
 - L'exigence peut-elle être testée de manière réaliste ?
- Compréhensibilité
 - L'exigence est-elle bien comprise ?
- Traçabilité
 - L'origine de l'exigence est-elle clairement indiquée ?
- Adaptabilité
 - L'exigence peut-elle être modifiée sans que cela ait un impact important sur d'autres exigences ?

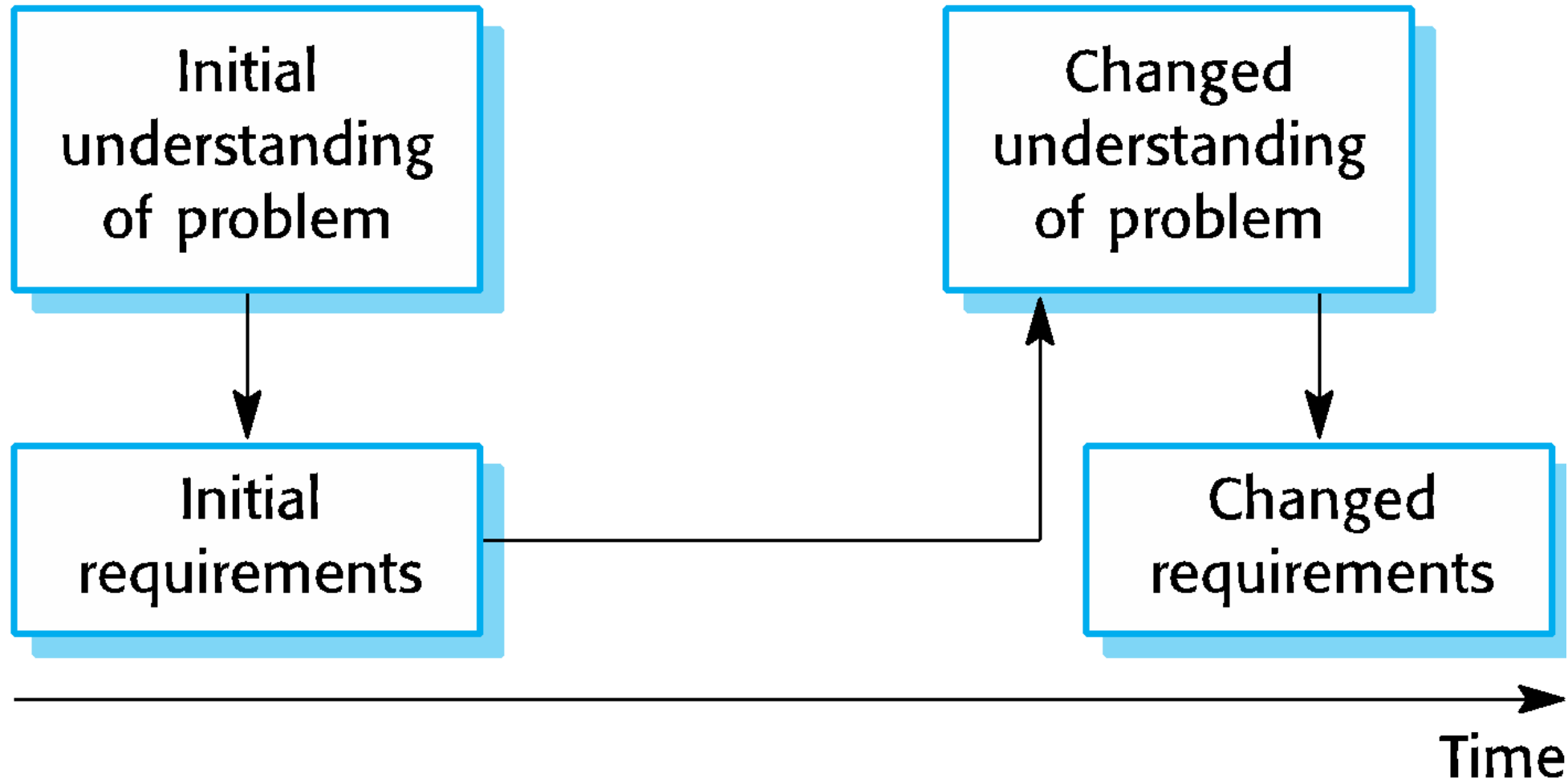
Évolution des besoins

- L'environnement commercial et technique du système change toujours après l'installation.
- Un nouveau matériel peut être introduit, il peut être nécessaire d'interfacer le système avec d'autres systèmes, les priorités de l'entreprise peuvent changer (avec des changements conséquents dans le soutien nécessaire au système), et de nouvelles législations et réglementations peuvent être introduites auxquelles le système doit nécessairement se conformer.
- Les personnes qui paient pour un système et les utilisateurs de ce système sont rarement les mêmes.
- Les clients du système imposent des exigences en raison de contraintes organisationnelles et budgétaires. Ces exigences peuvent entrer en conflit avec celles de l'utilisateur final et, après la livraison, de nouvelles fonctionnalités peuvent devoir être ajoutées pour le soutien de l'utilisateur si l'on veut que le système atteigne ses objectifs.

Évolution des besoins

- Les grands systèmes ont généralement une communauté d'utilisateurs diversifiée, avec de nombreux utilisateurs ayant des exigences et des priorités différentes qui peuvent être conflictuelles ou contradictoires.
- Les exigences finales du système sont inévitablement un compromis entre eux et, avec l'expérience, on découvre souvent que l'équilibre du soutien accordé aux différents utilisateurs doit être modifié.

Évolution des besoins



Gestion des exigences

- La gestion des exigences est le processus de gestion des changements d'exigences au cours du processus d'ingénierie des exigences et du développement du système.
- De nouvelles exigences apparaissent au cours du développement d'un système et après sa mise en service.
- Vous devez assurer le suivi des exigences individuelles et maintenir les liens entre les exigences dépendantes afin de pouvoir évaluer l'impact des modifications des exigences. Vous devez établir un processus formel pour faire des propositions de changement et les relier aux exigences du système.

Planification et gestion des exigences

- Établit le niveau de détail requis pour la gestion des exigences.
- Décisions relatives à la gestion des exigences :
 - Identification des exigences: Chaque exigence doit être identifiée de manière unique afin de pouvoir être référencée avec d'autres exigences.
 - Un processus de gestion du changement: Il s'agit de l'ensemble des activités qui permettent d'évaluer l'impact et le coût des changements. Ce processus est abordé plus en détail dans la section suivante.
 - Politiques de traçabilité: Ces politiques définissent les relations entre chaque exigence et entre les exigences et la conception du système qui doivent être enregistrées.
 - Outils: Les outils pouvant être utilisés vont des systèmes spécialisés de gestion des exigences aux tableurs et aux systèmes de base de données simples.

Gestion des modifications des exigences

- Décider si une modification des exigences doit être acceptée
 - Analyse des problèmes et spécification des changements
 - Au cours de cette étape, le problème ou la proposition de changement est analysé pour en vérifier la validité. Cette analyse est transmise au demandeur de changement qui peut répondre par une proposition de modification des exigences plus spécifique ou décider de retirer sa demande.
 - Analyse du changement et calcul des coûts
 - L'effet de la modification proposée est évalué à l'aide des informations de traçabilité et de la connaissance générale des exigences du système. Une fois cette analyse terminée, la décision est prise de procéder ou non à la modification des exigences.
- Mise en œuvre du changement
 - Le document relatif aux exigences et, le cas échéant, la conception et la mise en œuvre du système sont modifiés. Idéalement, le document devrait être organisé de manière à ce que les changements puissent être facilement mis en œuvre.

Gestion des modifications des exigences

