

# **Maîtrise de la métrologie dans un projet de recherche scientifique**

Direction de projet  
CALISTE Jean Pierre

Auteurs :  
BOUSBIAT Sana  
CITEAU Morgane

CP13 – Démarche qualité en recherche  
01/07/2010

Université de Technologie de Compiègne  
BP 60319  
60203 Compiègne CEDEX France  
Téléphone (33) 03 44 23 44 23 Télécopie (33) 03 44 23 43 00  
Site : [www.utc.fr](http://www.utc.fr)

## SOMMAIRE

Introduction.....	3
Chapitre 1.....	4
1. Contexte.....	4
1.1. Petit Historique.....	4
1.2. Organisation internationale et nationale.....	4
1.4. Arborescence des normes de métrologie.....	6
2. Problématique.....	7
3. Objectif et critères de réussite du projet.....	9
Chapitre 2.....	10
1. Le processus de confirmation métrologique.....	10
1.1. Planification du processus de confirmation métrologique.....	10
1.2. Processus de confirmation métrologique détaillé.....	11
1.3. Diagramme des risques et alternatives du processus.....	13
1.4. Cartographie du processus de confirmation métrologique.....	13
2. Risque projet et solution envisagée.....	14
Chapitre 3.....	16
1. Les processus de l'Assurance Qualité Instrumentale.....	16
1.1. Disponibilité des équipements.....	16
1.2. Gestion des ressources humaines.....	17
1.3. Gestion documentaire des équipements.....	18
1.4. Conditions environnementales.....	20
1.5. Pilotage du processus d'assurance qualité instrumentale.....	22
2. Cartographie matricielle du processus d'assurance qualité instrumentale.....	22
Chapitre 4.....	25
1. La mise au point de l'outil d'autoévaluation.....	25
2. Application de l'outil d'autodiagnostic.....	28
2.1. Laboratoire A.....	28
2.2. Laboratoire B.....	29
Conclusion.....	30
Bibliographie.....	31
Annexe 1. FD X 07-008 Arborescence des normes relative à la métrologie.....	33
Annexe 2 : Présentation des outils qualités.....	35

# Introduction

*« Si vous pouvez mesurer ce dont vous parlez, et l'exprimer par un nombre, alors vous connaissez quelque chose de votre sujet. Si vous ne le pouvez, votre connaissance est d'une bien pauvre espèce et bien incertaine »*

(Lord Kelvin)

Ainsi afin d'approfondir la connaissance dans un objet ou phénomène, de prendre une décision, de prévoir le risque, et enfin d'agir, il est nécessaire de recourir à la mesure. Cependant pour des raisons diverses (précision du matériel, erreurs de l'utilisateur,...), son résultat n'est pas une représentation entièrement juste. La grandeur mesurée s'accompagne alors d'une valeur d'incertitude qui quantifie la partie non maîtrisée de la connaissance. L'ensemble des techniques et des savoir-faire qui permettent d'effectuer ces mesures et d'avoir une confiance suffisante dans leurs résultats constitue la métrologie. Cette dernière est définie comme la science de la mesure, qui embrasse tous les aspects aussi bien théoriques que pratiques se rapportant aux mesurages, quelle que soit l'incertitude de ceux-ci, dans quelque domaine de la science et de la technologie que se soit (*NF X 07-001 Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie* [1]).

# Chapitre 1

## 1. Contexte

### 1.1. Petit Historique

« *Pour qu'il n'y est plus deux poids, deux mesures* » (1779, Cahier de doléances)

Un besoin de réglementer et d'unifier le système de mesure remonte à la plus Haute Antiquité. Dans un contexte de multiplication des transactions commerciales, de l'évolution des technologies et de la production, d'une demande de justice sociale, et pour faire face à la multitude des unités de mesure, il est apparu nécessaire de définir un vocabulaire et des outils de mesure communs et durables. Dans le cadre de l'intérêt générale (loyauté des transactions, sécurité des personnes, protection de l'environnement et de la santé), l'intervention de l'Etat dans la réglementation a donné lieu à ce que l'on définit comme la métrologie légale [1].

Différentes lois ont posé les bases d'un système de mesure commun [1]:

- Loi du 1<sup>er</sup> Aout 1793 - système métrique décimal
- Loi du 18 Germinal An III (1795) - système métrique décimal
- Loi du 4 juillet 1837 - organisation du service des poids et mesures
- 1875 - Convention du mètre, création du BIPM (bureau international des poids et mesures)

Aujourd'hui, la globalisation des échanges, et les réglementations toujours plus strictes, font de la métrologie un paramètre important dans les enjeux à la fois scientifiques, technologiques, économiques et sociaux. Pour illustrer les besoins continuels d'une harmonisation des systèmes de mesure, nous pouvons prendre l'exemple de la sonde spatiale Mars Climate Orbiter, destinée à l'étude météorologique de Mars. En septembre 1999, celle-ci s'écrasait sur la planète car les équipes participantes s'exprimaient dans des unités de mesure différentes : unité anglo-saxonne et système métrique.

### 1.2. Organisation internationale et nationale

On assiste à la création d'un environnement de coopération internationale dont les organisations en charge de la métrologie sont principalement :

- BIPM (Bureau International des Poids et Mesures), créée en 1875, et chargée d'assurer l'uniformité mondiale des mesures et leur traçabilité au système international d'unités [2].
- OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale), instituée par un traité en 1955, dont l'objectif principal est l'harmonisation des réglementations métrologiques nationales de ses membres (soit 113 Etats membres) [3],
- ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation), née en 1977, dont le but est de développer une coopération internationale permettant de faciliter le commerce par la promotion de test d'accréditation et de résultats de calibration [4],
- ISO (Organisation internationale de normalisation), organisation non gouvernementale constituée en réseau d'instituts nationaux de normalisation de 159 pays, qui produit et édite des normes internationales et fait le lien entre secteur public et privé [5].

A l'échelle nationale, les pays se dotent d'organismes chargés d'animer la métrologie, généralement un institut national soutenu par des organismes associés. Ainsi en France, depuis 2005, le LNE (laboratoire national de métrologie et d'essais) est en charge de la mission de pilotage de la métrologie, conciliant les activités de recherche et des prestations de raccordement à l'industrie. Dans le Tableau 1, première colonne, sont présentées les différentes directions du LNE. Cet organisme représente 50 % de l'ensemble des activités de conservation et de développement des références nationales. Les 50 % restant sont répartis entre trois laboratoires nationaux (CEA, CNAM, Observatoire Paris) et six laboratoires dits associés (LADG : laboratoire Associé de Débitométrie Gazeuse, CETIAT : Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques, ENSAM : Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Paris, IRSN : Institut de Radioprotection et de sûreté Nucléaire, OB : Observatoire de Besançon, LPMO : Laboratoire de Physique et de Métrologie des Oscillateurs). Enfin le LNE est aidé par un comité de la métrologie. Le tableau 1, seconde colonne, présente la composition du comité. Ce dernier examine les propositions des différents acteurs de la métrologie française pour définir des priorités, évaluer la pertinence des projets et suivre les résultats obtenus. Ces propositions et avis sont ensuite adressés à la direction du LNE qui est chargée de leur mise en œuvre [5].

<b>LNE</b> <b>Laboratoire national de métrologie et d'essais</b>	<b>Comité de métrologie</b> <b>(14 membres)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>→ DDC : Direction du Développement et de la Certification</li> <li>→ <b>CMI : Centre Métrologie Instrumentation</b></li> <li>→ <b>CME : Centre de Métrologie Electrique</b></li> <li>→ DRST : Direction de la Recherche Scientifique et Technologique</li> <li>→ CQPE : Centre de Qualification des Produits et Equipements</li> <li>→ CEMAT : Centre Energie Matériaux et Emballages</li> <li>→ Autres directions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ LNE (CMI et CME)</li> <li>→ Observatoire de Paris (SYRTE : Système de Références Temps-Espace)</li> <li>→ CNAM (INM : institut National de Métrologie)</li> <li>→ CEA (LNHB : Laboratoire national Henri Becquerel)</li> <li>→ CNRS</li> <li>→ Ministère de la recherche</li> <li>→ Ministère de l'industrie</li> <li>→ 7 personnalités scientifiques et industrielles.</li> </ul>

Tableau 1. Organisation nationale des laboratoires de métrologie.

#### 1.4. Arborescence des normes de métrologie

Sur sagaweb, 994 documents (FD, NF, ISO, XP...) se réfèrent à la métrologie. Le document FD X 07-008 [7] notamment, présente l'arborescence de normes et travaux sur la métrologie. Le diagramme, tirée du document et présenté dans l'annexe 1, permet d'avoir une vue synthétique de l'ensemble de normes d'intérêt du domaine de la métrologie. Celles-ci se répartissent suivant différents éléments qui influencent la maîtrise du processus de mesure : la matière, le milieu, les moyens, les méthodes avec les apports de la traçabilité et de la validité, la main d'œuvre, la connaissance et le vocabulaire, afin d'obtenir un résultat de mesure dont les problèmes d'incertitudes, d'utilisation du résultat et les questions d'inter comparaison sont quantifiables.

## 2. Problématique

Afin de cadrer notre projet, un questionnement a été réalisé sur la place de la métrologie dans la recherche. Les résultats sont récapitulés Tableau 2.

Tableau 2. Clarification de la problématique.

<b>QQOQCP</b> <i>Cadrer le problème</i>	Participants : Bousbiat Sana, Citeau Morgane	Ref : QQOQCP_2010 Date : 08/02/10 Lieu : UTC
<b>Donnée d'entrée</b> <i>Problématique générale</i>	<b>La place de la métrologie dans un projet de recherche</b>	
<b>Qui ?</b> <i>Qui est concerné par le problème ?</i>	<u>Emetteurs</u> Chercheurs scientifiques (doctorants, post doc...), Techniciens, Stagiaires <u>Récepteurs</u> Lecteurs et utilisateurs des données transmises	
<b>Quoi ?</b> <i>C'est quoi le problème ?</i>	Comprendre la signification du résultat d'une mesure.	
<b>Où ?</b> <i>Où apparaît le problème ?</i>	Dans le laboratoire de recherche lors de la préparation, la réalisation et l'analyse d'une expérimentation.	
<b>Quand ?</b> <i>Quand apparaît le problème ?</i>	Dans un projet de recherche (thèse, master, recherche industrielle, ou universitaire)	
<b>Comment ?</b> <i>Comment mesurer le problème et ses solutions ?</i>	Lors du traitement des résultats : - des incertitudes importantes, - des résultats surprenants, - une mauvaise reproductibilité et répétabilité des mesures	
<b>Pourquoi ?</b> <i>Pourquoi résoudre ce problème ? Quels enjeux quantifiés ?</i>	Assurer la pertinence de l'information apporter par le chercheur, permettant ainsi de : - faciliter l'exploitation et les échanges/transmission des informations, - augmenter l'efficacité du groupe de travail, - obtenir une reconnaissance dans le domaine scientifique, - assurer la poursuite du projet,	
<b>Donnée de sortie</b> <i>Question explicite et pertinente à résoudre</i>	<b>Comment assurer la pertinence de l'information transmise au cours d'un projet de recherche ?</b>	

L'intérêt du sujet s'est plus particulièrement porté sur la problématique d'assurer la pertinence de l'information apportée par une personne au cours d'un projet de recherche scientifique.

Afin de répondre à cette question un brainstorming a été organisé au sein d'une équipe de recherche. Les résultats ont ensuite été classés par affinité et représentés sous forme d'un diagramme causes/conséquence, Figure 1.

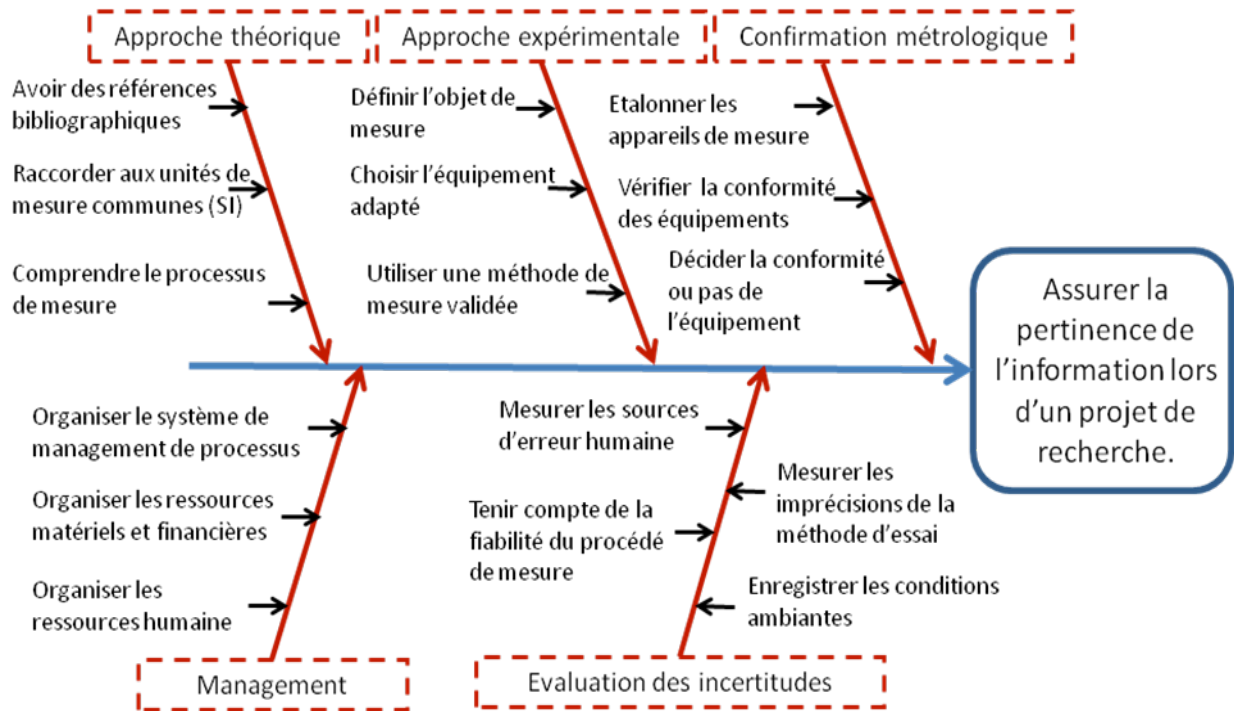


Figure 1. Les facteurs permettant d'assurer la pertinence des informations scientifiques transmises.



### 3. Objectif et critères de réussite du projet

Afin d'assurer la pertinence des résultats de mesures, le choix de l'étude s'est porté sur la démarche métrologique pour assurer De précédents travaux ont été réalisés dans cette optique (maîtrise des incertitudes de mesure, qualité d'un travail bibliographique, [8]...). Plus précisément, le projet est ciblé sur l'aspect étalonnage.

Afin que cette démarche soit réussie, elle doit :

- être applicable dans l'ensemble des domaines de la recherche en tenant compte de la diversité des processus de mesure,
- permettre le choix de mesures pertinents représentant de manière juste l'objet ou l'élément d'étude,
- permettre des mesures répétables, correctes, dont l'incertitude du résultat est quantifiée et minimale,

Dans le cadre de l'élaboration d'un projet de démarche qualité en recherche, nous avons choisi de traiter l'aspect métrologique. Comme il a été vu dans ce chapitre, la métrologie correspond à la science de la mesure et s'étend sur l'ensemble des domaines faisant appel au mesurage. Elle donne ainsi un sens à la mesure. Cette 1<sup>ère</sup> partie a permis de définir la problématique du projet: comment assurer la pertinence de l'information transmise au cours d'un projet de recherche ? Nous avons alors choisi de répondre à cette question par l'étude de l'aspect de la confirmation métrologique.

## Chapitre 2

### 1. Le processus de confirmation métrologique

Le processus de la confirmation métrologique est étudié dans ce chapitre. L'idée est de répondre par l'étude du processus et ses risques, aux attentes du public portant sur l'assurance de résultats pertinents.

#### 1.1. Planification du processus de confirmation métrologique

Afin de structurer notre action, le processus de la confirmation métrologique a été représenté sous la forme d'une Planification Dynamique Stratégique (PDS), présenté Figure 2. A partir de la connaissance du besoin du public : garantir des résultats scientifiques pertinents, nous avons définis notre mission, et analysés nos forces et faiblesses pour sa réalisation. Enfin nous avons identifiés nos objectifs et le livrable qui serait fourni au public. Ce PDS a ainsi permis de proposer au public, un outil d'autoévaluation applicable dans les laboratoires de recherche.

Figure 2. Planification stratégique dynamique du processus de confirmation métrologique

## **1.2. Processus de confirmation métrologique détaillé**

La norme NF EN ISO 10012 [9] fournit des exigences génériques et des guides d'application pour le management des processus de mesure et pour la confirmation des équipements de mesure utilisés pour démontrer la conformité aux exigences métrologiques. L'article 7 de cette norme aborde l'aspect de confirmation, et permet de présenter le processus sous la forme d'un logigramme présenté Figure 3.

Le processus de confirmation métrologique est divisé en quatre sous-processus qui sont :

- le choix pertinent de la mesure effectué par le public en collaboration avec le laboratoire, qui permet de déterminer l'équipement, le processus de mesure et les exigences métrologiques [13],
- l'étalonnage,
- la vérification métrologique,
- la prise de décision et d'action.

Ces 3 dernières étapes sont effectuées par le laboratoire, et permettent de confirmer au client l'état métrologique de son équipement.

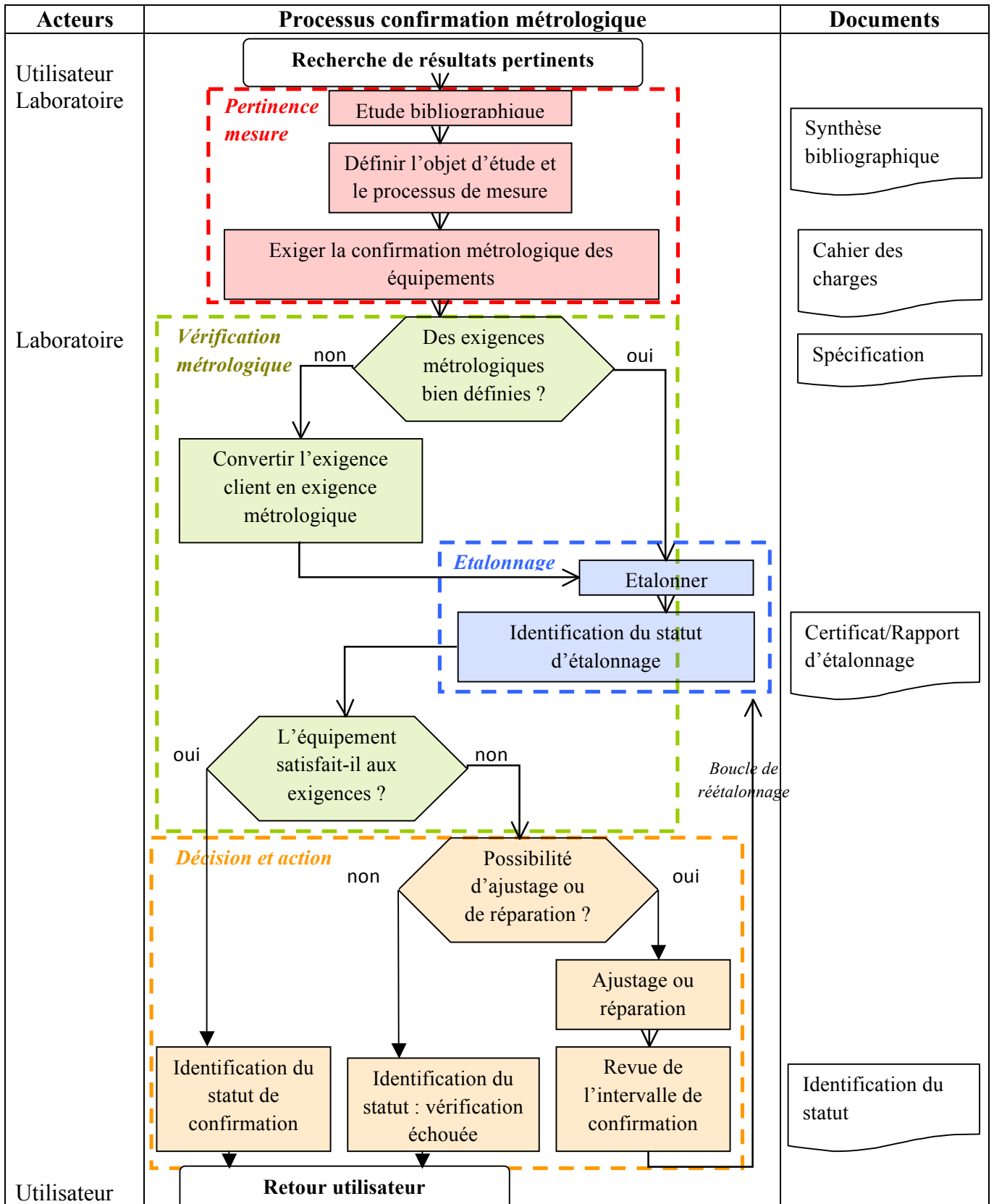


Figure 3. Logigramme du processus de confirmation métrologique

### 1.3. Diagramme des risques et alternatives du processus

Le diagramme Figure 4, présente les risques qui peuvent survenir à certains points critiques du processus ainsi que les alternatives qui ont été envisagés.

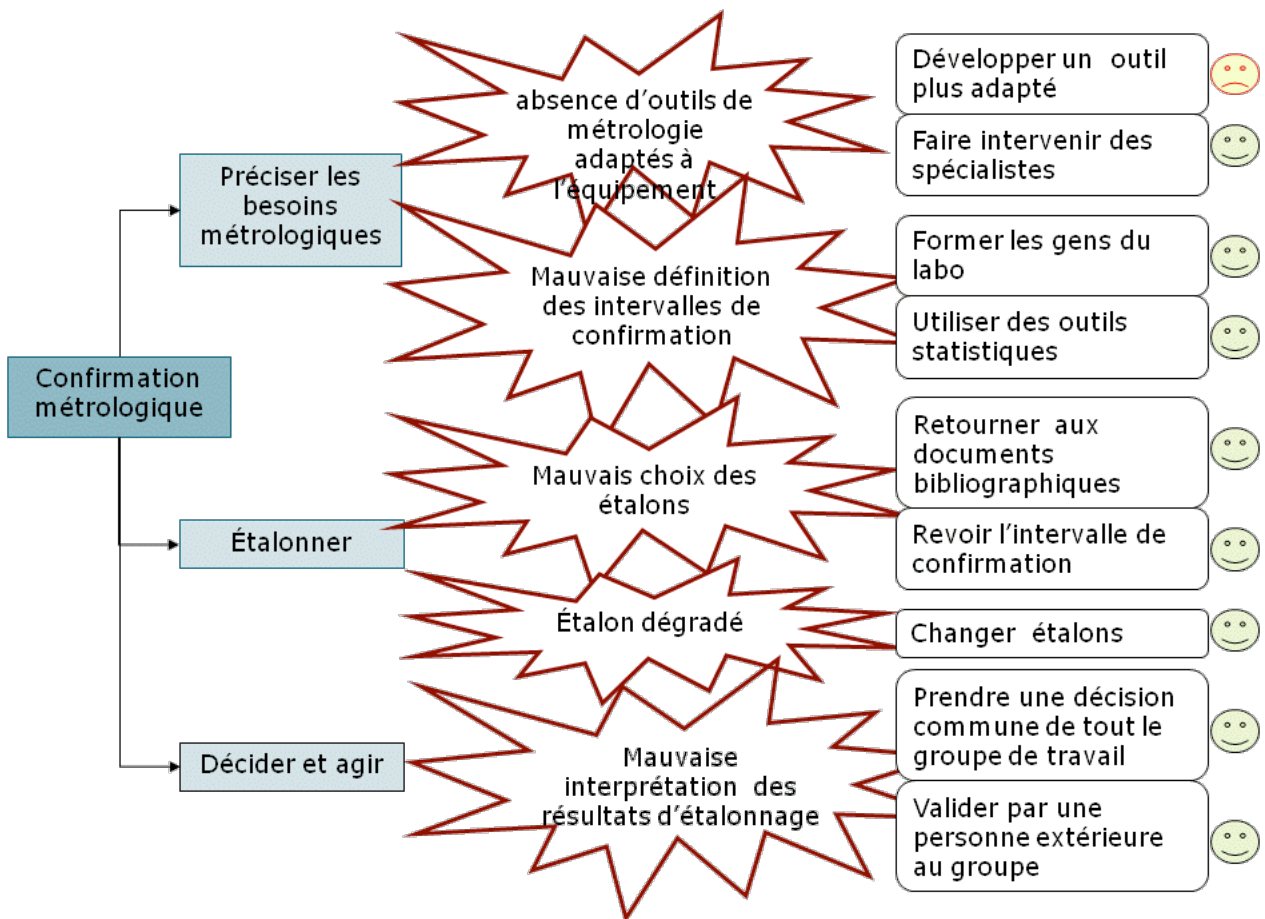


Figure 4. Diagramme des risques / solutions du processus de confirmation métrologique

### 1.4. Cartographie du processus de confirmation métrologique

La cartographie du processus de confirmation métrologique, présentée Figure 5, permet de visualiser les entrées, les sorties ainsi que les supports du processus.

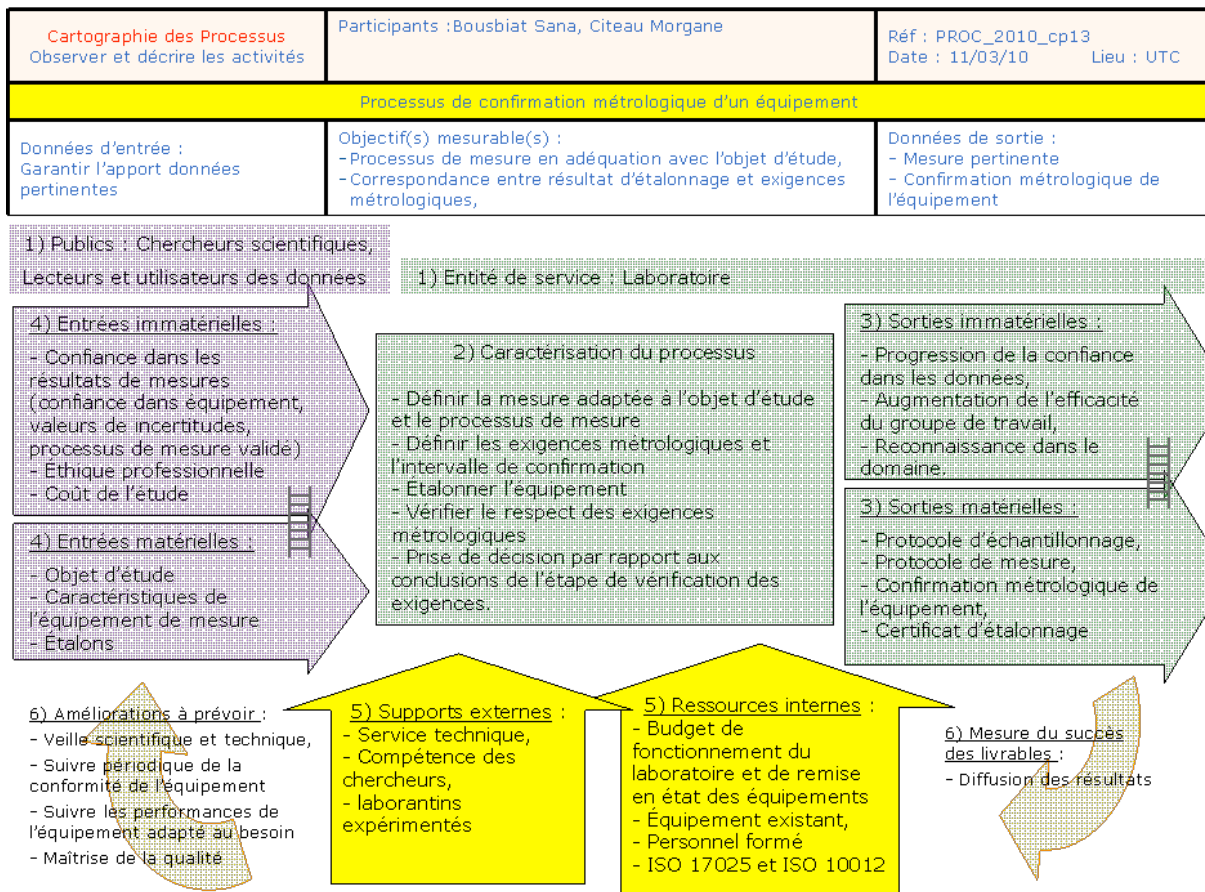


Figure 5. Cartographie du processus de la confirmation métrologique

## 2. Risque projet et solution envisagée

L'application du processus de confirmation métrologique précédemment présenté précédemment, est limitée à la décision de la conformité ou pas de l'équipement de mesure, comme décrit Figure 6. Pour cette raison, l'étude a été élargie à l'assurance de la qualité instrumentale.



Figure 6. Diagramme risque / alternative projet

Cette nouvelle problématique conduit à chercher les facteurs contribuant à assurer la qualité instrumentale dans un laboratoire de recherche. Un brainstorming ainsi qu'un diagramme d'affinité ont été réalisés afin de répondre à cette question. Les résultats sont représentés sous forme d'un diagramme d'Ishikawa, figure 7.

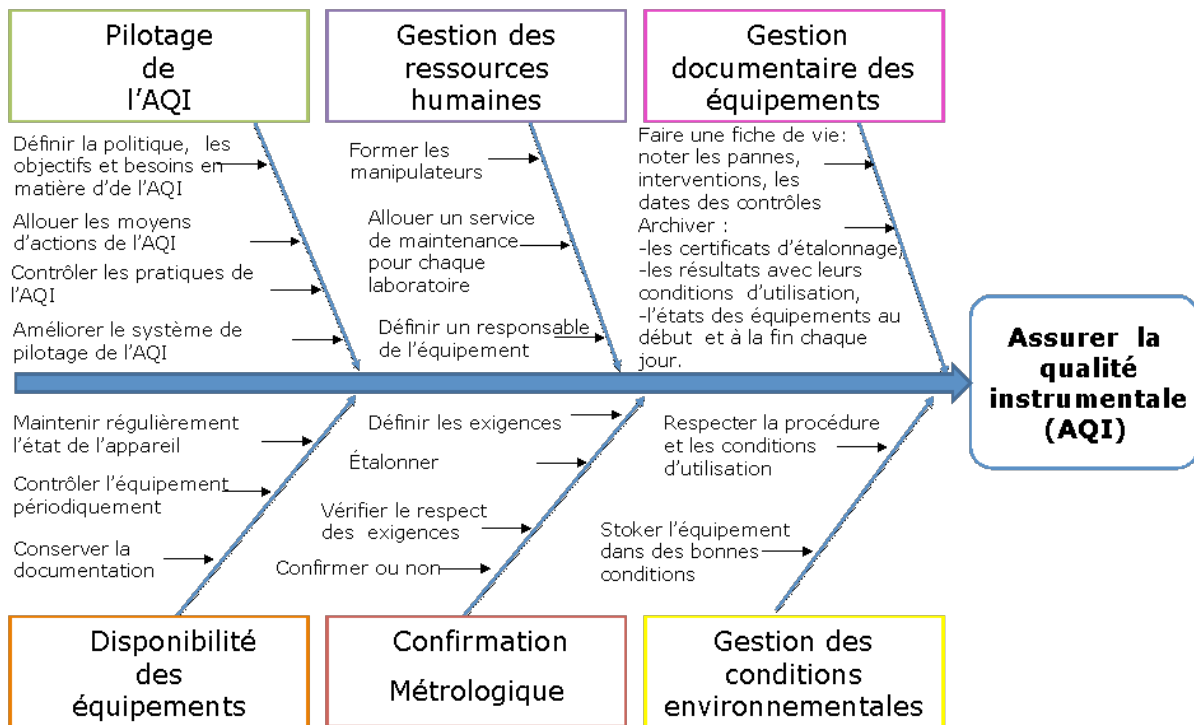


Figure 7. Les six facteurs contribuant à l'Assurance Qualité Instrumentale

Ce chapitre a traité de la solution envisagée dans le premier chapitre : la confirmation métrologique dans un laboratoire de recherche. Cependant, cette réponse au problème de fiabilité et pertinence des résultats de mesure, risquait d'être limitée à la norme NF EN ISO 10012. Pour cette raison, l'étude a été réorientée vers une solution plus large : *l'assurance de la qualité instrumentale dans un laboratoire de recherche*. Celle-ci semble utile et efficace pour aider un laboratoire de recherche dans sa démarche d'amélioration de la pertinence des mesures. Pour ce faire, il est envisagé de mettre en place un outil d'autodiagnostic permettant d'évaluer le degré de qualité des équipements de mesure.

## Chapitre 3

La responsabilité des laboratoires en termes d'assurance qualité nécessite de surveiller et d'améliorer la qualité instrumentale. La confirmation métrologique, la disponibilité des équipements, les conditions environnementales d'utilisation ou de stockage, la gestion des ressources humaines, la gestion documentaire et le pilotage de la démarche d'assurance qualité instrumentale sont six éléments qui apparaissent importants pour assurer la qualité des équipements de mesures. Comme cela a été fait précédemment pour le processus de confirmation métrologique, nous proposons d'étudier leur processus correspondant dans ce chapitre [12].

### 1. Les processus de l'Assurance Qualité Instrumentale

Les processus sont représentés sous une forme déployée précisant les acteurs, leurs actions et la documentation livrable

#### 1.1. Disponibilité des équipements

La finalité de ce processus, Figure 8, est d'assurer la disponibilité de l'équipement de mesure. Pour se faire, trois sous processus sont distingués :

- la caractérisation des équipements, effectuée par le fournisseur de l'équipement et l'utilisateur, et qui permet de déterminer notamment l'erreur maximale tolérée,
- puis la maintenance et le contrôle, menés par l'utilisateur, afin de vérifier le bon fonctionnement et le respect des exigences en termes d'erreur tolérée,
- enfin son financement, proposé par le laboratoire.



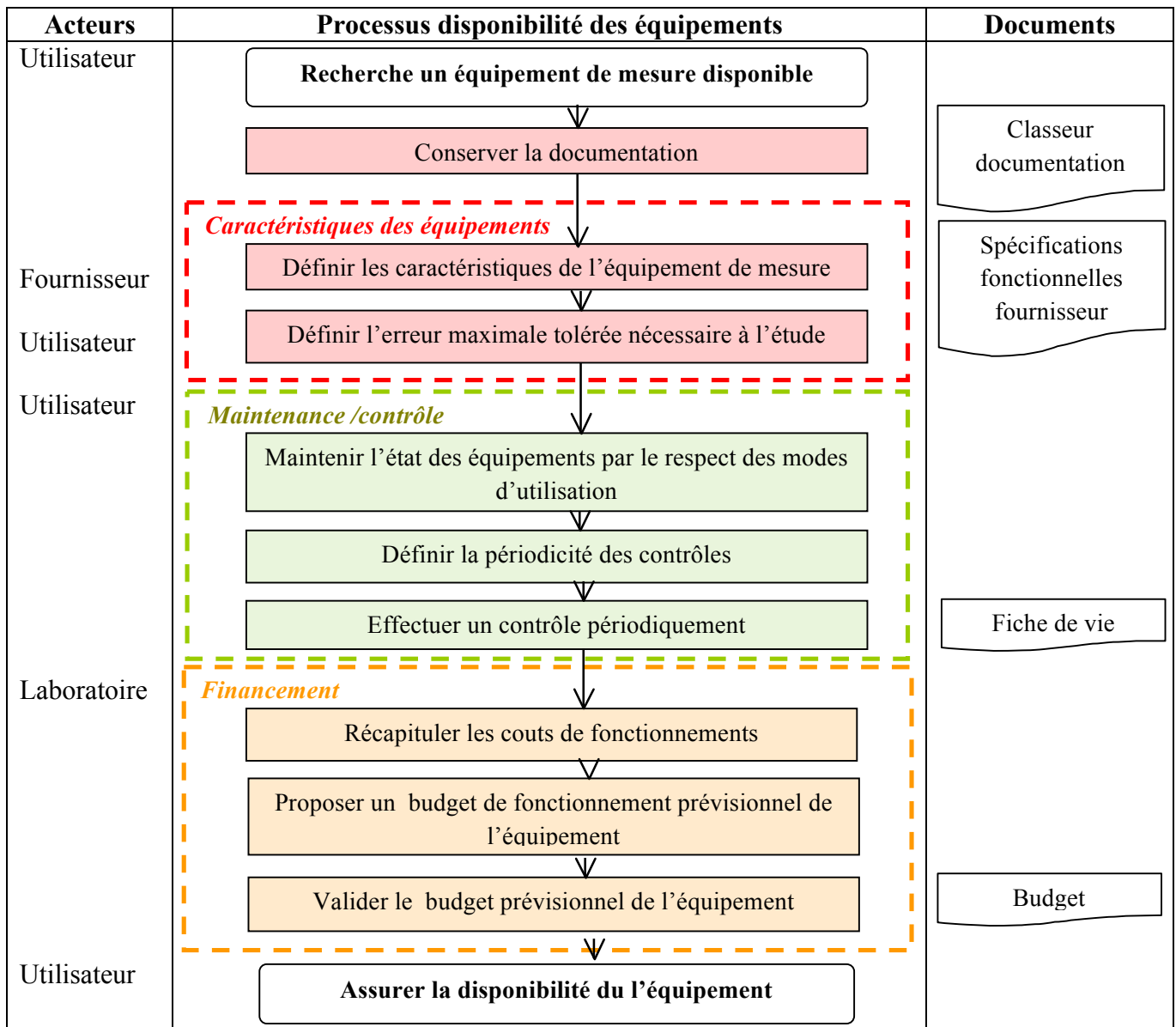


Figure 8. Logigramme de la disponibilité des équipements

## 1.2. Gestion des ressources humaines

La finalité de ce processus, Figure 9, est d'assurer la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences. Pour cela, deux sous-processus, effectués par la direction des ressources humaines sont distingués :

- l'organisation des activités liées à la qualité instrumentale, permettant d'identification les activités et les responsables en lien avec la qualité instrumentale, la planification de l'organisation et sa communication auprès des utilisateurs,
- l'allocation des compétences, qui consiste en la prévision des formations, des embauches, et l'affectation des ressources humaines.

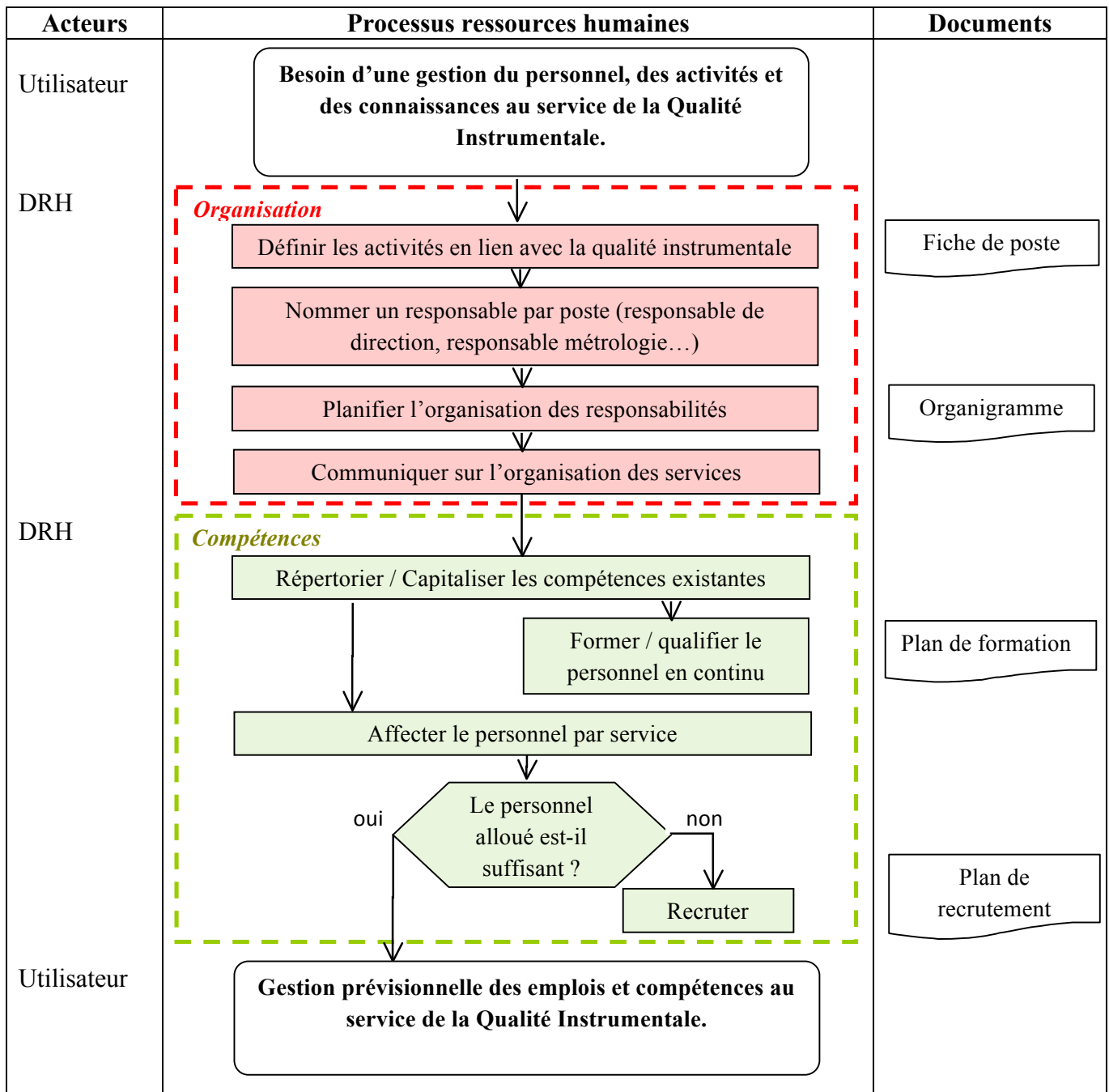


Figure 9. Logigramme de la gestion des ressources humaines

### 1.3. Gestion documentaire des équipements

La finalité de ce processus, Figure 10, est d'assurer la traçabilité des équipements de mesure.

Pour cela trois sous-processus sont identifiés [14, 15] :

- l'enregistrement de la documentation fournie par le fournisseur ou constructeur de l'équipement,
- l'enregistrement des interventions de maintenance préventive ou correctives,
- l'enregistrement des diverses utilisations par les manipulateurs.