

Forage d'eau : vers la professionnalisation d'un secteur

Qualité et corrosion des pièces composantes des Pompes à Motricité Humaine au Burkina Faso et au-delà



Dr Kerstin Danert
29 Juillet 2019

Ce rapport a été élaboré grâce au soutien financier des Accords de Coopération Programmatique (PCA) 2015-2017 et 2017-2019 d'UNICEF et Skat Foundation. Il est également co-financé par Skat Consulting Ltd. Projektfonds, qui soutient le pilotage du thème « Le développement durable des eaux souterraines » du Réseau pour l'Accès à l'Eau dans les zones Rurales (RWSN) par l'auteur depuis 2008.

Pour citation et référence

Danert, K (2019) **Qualité et corrosion des pièces composantes des Pompes à Motricité Humaine au Burkina Faso et au-delà**, Skat Foundation

Illustration de couverture

Colonnes montantes corrodées photographiées au Burkina Faso dans le cadre de l'audit d'équipements d'approvisionnement en eau in situ.

Table des matières

Abréviations	4
Résumé	5
1 Introduction.....	7
2 Les pompes India Mark II et III.....	8
3 Le fer et la corrosion	9
4 Les pièces composantes des PMH : une situation préoccupante à plusieurs niveaux	10
4.1 Le Burkina Faso	10
4.2 Les autres pays	11
5 Spécifications techniques, normes, brochures et catalogues	14
5.1 Les spécifications techniques du RWSN	14
5.2 Les normes indiennes.....	14
5.3 Les brochures et les sites internet des fabricants.....	15
5.4 Fiches produits issues du catalogue d’approvisionnement de l’UNICEF	16
5.5 Spécifications techniques dans les bons de commande de l’UNICEF.....	17
6 La qualité des matériaux prélevés au Burkina Faso	17
6.1 Echantillonnage et protocoles de test.....	17
6.2 Résultats des tests et évaluation	18
7 Conclusions.....	19
Références	21
Annexe 1 Une très brève introduction à la corrosion	23
Annexe 2 Normes et spécifications techniques.....	25
Annexe 3 Spécifications techniques pour les colonnes d’exhaure, les raccords et les bielles.....	27
Annexe 4 Exemple de quatre « fiches produits » India II et III du catalogue d’approvisionnement UNICEF	32
Annexe 5 Notes complémentaires sur les normes internationales	37
Annexe 6 Résultats détaillés des tests.....	39

Abréviations

Ø	Diamètre
ANSI	Institut Américain du Fer et de l'Acier (<i>American Iron and Steel Institute</i>)
BIS	Bureau de Normalisation Indien (<i>Bureau of Indian Standards</i>)
ERW	Soudé par résistance électrique (<i>Electric Resistance Welded</i>)
Empa	Laboratoires fédéraux suisses des sciences et techniques des matériaux
GI	Fer Galvanisé
IS	Norme Indienne (<i>Indian Standard</i>)
ISO	Organisation des Normes Internationales (<i>International Standards Organisation</i>)
NB	Alésage nominal (<i>Nominal Bore</i>)
ND	Diamètre nominal
PMH	Pompe à Motricité Humaine
SS	Acier inoxydable (<i>Stainless Steel</i>)
UPVC	Polychlorure de vinyle non plastifié

Ce rapport est traduit de l'anglais. En cas d'incertitude sur les termes employés, notamment concernant les parties normatives et les spécifications techniques, n'hésitez pas à contacter directement l'auteur sur : kerstin.danert@skat.ch

Résumé

Au Burkina Faso, le nombre élevé de forages équipés d'une pompe à motricité humaine (PMH) qui dysfonctionnent ou qui nécessitent de grosses réparations quelques années seulement après leur construction est alarmant. Les audits techniques effectués en 2013 et 2014 au Burkina Faso sur des forages équipés de PMH ont révélé des situations préoccupantes en termes de qualité de l'eau, de matériel inadapté aux profondeurs des puits et de pompes non-conformes. Dans plus d'un tiers des cas, les forages équipés de PMH dysfonctionnent ou deviennent même totalement inutilisables en moins de quelques années. Entre 0.6 milliards de FCFA (0.9 million d'€) et 2.9 milliards de FCFA (4,5 millions d'€) d'investissements annuels seraient ainsi perdus du fait de l'installation de PMH de qualité médiocre et de diverses malfaçons lors des travaux de construction. Chaque année, plus de 130 000 personnes bénéficient d'un service d'approvisionnement en eau dont la pérennité n'est de ce fait pas assurée au-delà des premières années.

La corrosion des PMH est un phénomène connu depuis plus de 30 ans ; elle demeure pourtant un problème majeur au Burkina Faso car les gouvernements successifs et les agences d'aide au développement ont continué d'installer des pompes fabriquées à partir de matériaux inadaptés. Ces pratiques ont généré des coûts d'entretien élevés, de multiples pannes et le rejet de nombreux points d'eau par les communautés car l'eau y était de mauvaise qualité. La corrosion des PMH est un problème mondial majeur, dont le secteur EAH ne s'est jusqu'à présent toujours pas saisi à sa juste mesure, et qui risque d'empêcher la réalisation de l'Objectif du Développement Durable n°6 au Burkina Faso comme dans d'autres pays. Sur les forums de discussion en ligne du Réseau pour l'Approvisionnement Rural en Eau (RWSN), les experts internationaux font notamment remonter comme principales préoccupations à ce sujet : des matériaux et des pièces composantes de qualité inadaptée, un manque de contrôle qualité, des prix anormalement bas, et des pratiques d'achat et de commande problématiques.

Le Gouvernement Burkinabé et l'antenne pays de l'UNICEF ont demandé en 2017 à Skat Foundation d'étudier en détail la qualité des pièces composantes des PMH au Burkina Faso. La mission Skat Foundation 2017 a pour cela acheté des échantillons de colonnes d'exhaure et de tringles auprès de trois fournisseurs à Ouagadougou. Sept échantillons supplémentaires ont été ensuite prélevés en 2019 sur des PMH encore utilisées par les communautés et sur d'autres PMH qui étaient abandonnées. En 2019 des tests de composition chimique ont été réalisés sur l'ensemble de ces échantillons. L'analyse des résultats de ces tests révèle que : cinq des six colonnes d'exhaure et deux des quatre tringles ne sont pas conformes aux normes internationales de composition de l'acier inoxydable du grade indiqué. La faible teneur en nickel de ces échantillons signifie notamment que les pièces analysées ont en réalité une résistance à la corrosion moindre que celle qu'elles devraient avoir si elles étaient effectivement du grade indiqué.

Skat/le Réseau pour l'Approvisionnement Rural en Eau (RWSN) et le Bureau de Normalisation Indien (BIS) ont chacun publié des normes et spécifications techniques relatives aux PMH India Mark II et III. De plus, les brochures et les sites internet des fabricants fournissent des informations complémentaires et des recommandations sur les produits qui peuvent, ou devraient, être commandés. Le catalogue d'achat de l'UNICEF référence en détail plusieurs modèles d'India Mark II et III, et les bureaux de l'UNICEF accompagnent toutes leurs commandes de spécifications techniques. Le contenu de ces différentes publications n'est toutefois pas toujours concordant, et des lacunes subsistent.

Les 13 pièces composantes qui ont été testées dans le cadre de cette étude forment un trop petit échantillon pour s'avérer statistiquement représentatives de la situation du Burkina Faso dans son ensemble. Cet échantillon corrobore toutefois l'inquiétude du Gouvernement au sujet de certaines pièces composantes en soit disant acier inoxydable disponibles actuellement sur le marché, bien que l'ampleur du problème reste encore à déterminer. Élément tout aussi important et plus rassurant cependant, il est également possible d'acheter sur le marché des colonnes d'exhaure, des tringles et des manchons soudés conformes aux spécifications techniques optimales: six des treize échantillons respectaient bien les normes internationales.

Cette étude rapide a révélé pour le Burkina Faso et au-delà une série d'enjeux interconnectés:

1. Il est nécessaire de poursuivre les recherches sur l'utilisation des pièces composantes en acier inoxydable afin d'éviter la corrosion des pièces de PMH immergées dans des eaux souterraines agressives.
2. La norme indienne pour les modèles India Mark II et III comprend quelques erreurs, et aucune option n'est proposée pour les cas d'eaux souterraines agressives. Les normes internationales (notamment celles publiées par SKAT/ Le Réseau pour l'Approvisionnement Rural en Eau-RWSN) portant sur les matériaux des pièces de PMH adaptés aux eaux souterraines agressives pourraient être améliorées.
3. De nombreuses entreprises en Inde vendent des PMH et des pièces de modèles India Mark II et III. Les prix de vente pratiqués par certaines de ces entreprises sont si bas qu'il semble impossible que la qualité de ces pompes et pièces soit conforme aux normes internationales.
4. Il n'existe aucun organisme international chargé de contrôler systématiquement la qualité des matériaux de PMH, et le rôle et l'activité du Bureau de Normalisation International à ce sujet ne sont pas clairs ni évidents.
5. Lorsque les PMH sont achetées dans le pays où elles doivent être installées, la longue chaîne d'approvisionnement (souvent anonyme de surcroît du fait de la multiplicité des intermédiaires) fait qu'il n'existe pas ou peu de lien entre les fabricants (situés majoritairement en Inde) et les installateurs des PMH en question. De plus, l'absence de compilation systématique des problèmes rencontrés préalablement signifie que les agences, les entreprises et les ménages s'engagent dans l'installation de PMH sans saisir l'ampleur de ces soucis de qualité et ne s'en rendent compte que trop tard.
6. De nombreuses PMH utilisées en Afrique sont importées d'Inde (et visiblement du Nigéria également), donc les efforts menés pour résoudre cet enjeu de garantie de qualité doivent absolument inclure l'Inde ainsi que plusieurs pays africains.
7. L'intérêt des financeurs pour l'équipement des PMH est probablement actuellement au plus bas depuis 30 ans, il s'avère donc très difficile de mobiliser à grande échelle pour développer un processus de certification internationale ou financer davantage de recherches à ce sujet. Une telle initiative nécessiterait d'une part des investissements supplémentaires et d'autre part des engagements de long terme de la part des principales agences et des gouvernements qui financent et mettent en œuvre des programmes d'installation et d'entretien de PMH.

S'assurer en permanence de la qualité des PMH India II et III et Afridev est un défi pour le Burkina Faso mais aussi pour d'autres pays. La qualité de certaines pièces composantes d'Afridev a été mise en cause dans un autre pays, mais l'ampleur du problème reste inconnue à ce stade. Les PMH India Mark II et III, et Afridev, sont les modèles de pompes les plus répandus dans de nombreux pays, avec des chaînes d'approvisionnement en pièces détachées correspondantes souvent bien établies. Comme le montre ce rapport, le constat est celui d'un échec du « marché » à fournir systématiquement des matériaux de haute qualité. Afin de rectifier cette situation, il est nécessaire de trouver des solutions à la fois au sein des pays d'importation, comme le Burkina Faso, et au niveau international.

Nous espérons que cette courte étude attirera l'attention des gouvernements, des organismes de recherche et des agences internationales d'aide au développement et les incitera à travailler sur la résolution des problèmes pressants que sont la corrosion et la mauvaise qualité des pièces composantes des PMH. Si rien n'est fait la communauté mondiale de l'approvisionnement en eau, par négligence ou désintérêt, prive de fait les populations rurales du Burkina Faso et d'ailleurs des bénéfices d'un approvisionnement en eau élémentaire et fiable.

1 Introduction

Au Burkina Faso, le nombre élevé de forages équipés d'une pompe à motricité humaine (PMH) qui dysfonctionnent ou qui nécessitent de grosses réparations quelques années seulement après leur construction est alarmant. Les audits techniques effectués en 2013 et 2014 au Burkina Faso sur des forages équipés de PMH ont révélé des situations préoccupantes en termes de qualité de l'eau, de matériel inadapté aux profondeurs des puits et de pompes non-conformes. Dans plus d'un tiers des cas, les forages équipés de PMH dysfonctionnent ou deviennent même totalement inutilisables en moins de quelques années. Danert *et al* (2017) estiment qu'entre 0.6 milliards de FCFA (0.9 million d'€) et 2.9 milliards de FCFA (4,5 millions d'€) d'investissements annuels sont ainsi perdus du fait de l'installation de PMH de qualité médiocre et de diverses malfaçons lors des travaux de construction. Chaque année, plus de 130 000 personnes ont bénéficié d'un service d'approvisionnement en eau dont la pérennité n'est de ce fait pas assurée au-delà des premières années.

La corrosion des PMH est un phénomène connu depuis plus de 30 ans au Burkina Faso ; elle demeure pourtant un problème majeur car les gouvernements successifs et les agences d'aide au développement ont continué d'installer des pompes fabriquées à partir de matériaux inadaptés. Ces pratiques ont généré des coûts d'entretien élevés, de multiples pannes et le rejet de nombreux points d'eau par les communautés car l'eau y était de mauvaise qualité. La corrosion des PMH est un problème mondial majeur, dont le secteur EAH ne s'est jusqu'à présent toujours pas saisi à sa juste mesure, et qui risque d'empêcher la réalisation de l'Objectif du Développement Durable n°6 au Burkina Faso comme ailleurs.

Le gouvernement du Burkina Faso et l'antenne pays de l'UNICEF ont sollicité Skat Foundation pour étudier la qualité des pièces composantes des PMH juste avant que l'auteur n'entreprenne une première mission sur le terrain en février 2017. Cette mission visait initialement à participer aux efforts de professionnalisation des activités de forage dans le pays (Danert *et al*, 2019). Du fait de l'ampleur de cette première mission, il n'a malheureusement pas été possible d'examiner en détail la question des pièces composantes des PMH. Toutefois, grâce notamment au soutien de l'association professionnelle des foreurs du Burkina Faso, des échantillons de colonnes d'exhaure et de tringles ont pu être achetés auprès de trois fournisseurs à Ouagadougou au cours de cette première mission en 2017, et ont été envoyés en Suisse pour que leurs matériaux soient testés.

Un manque de fonds a retardé ces tests, qui n'ont pu être conduits qu'au début 2019 grâce à une nouvelle coopération entre l'UNICEF et Skat Foundation. La première série d'échantillons achetés en 2017 a été complétée par une série d'échantillons supplémentaires prélevés en 2019 directement sur des pompes soit toujours utilisées actuellement, soit abandonnées. L'analyse chimique de l'ensemble des échantillons révèle que : cinq des six échantillons de colonnes d'exhaure et deux des quatre échantillons de tringles ne sont pas conformes aux normes internationales de composition de l'acier inoxydable du grade indiqué. Les échanges sur les forums de discussion en ligne du Réseau pour l'Approvisionnement Rural en Eau (RWSN) témoignent d'inquiétudes similaires et font part d'exemples de matériaux de mauvaise qualité dans d'autres pays également. Comme indiqué précédemment, le Burkina Faso est loin d'être le seul pays concerné par ce problème.

Ce rapport s'articule comme suit:

- Le chapitre 2 replace les pompes India Mark II et III dans leur contexte;
- Le chapitre 3 rappelle l'enchaînement des problèmes dûs au fer et à la corrosion;
- Le chapitre 4 résume les préoccupations actuelles au sujet des pièces composantes des PMH;

- Le chapitre 5 donne un aperçu des spécifications techniques, des normes, des brochures et des catalogues utilisables pour préciser la qualité des pièces et des matériaux recherchés lors des achats de pompes India Mark II et III
- Le chapitre 6 présente les résultats des tests effectués sur les échantillons du Burkina Faso
- Le chapitre 7 indique la conclusion du rapport

2 Les pompes India Mark II et III

Dans le monde entier, et en Afrique en particulier, des millions de ménages utilisent la Pompe à Motricité Humaine (PMH) India Mark II ou III (Image 1) pour puiser dans les nappes phréatiques et assurer leur approvisionnement quotidien en eau potable (Bauman and Furey, 2013). L'India Mark II (et India Mark III, qui en est la version suivante) est le modèle de PMH de référence choisi par les gouvernements et les agences de développement de nombreux pays (MacArthur, 2015). Cette pompe est un équipement collectif conçu pour être utilisé par un groupe de 200 à 500 personnes environ. Elle a été élaborée et testée en Inde à la fin des années 1970 dans le cadre d'une collaboration entre le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), la Banque Mondiale, l'UNICEF et des entreprises indiennes intitulée « Le Projet PMH ».

Les spécifications techniques internationales du Réseau pour l'Approvisionnement Rural en Eau (RWSN)¹ sont disponibles gratuitement pour tout fabricant souhaitant produire des PMH India Mark II (Skat/RWSN, 2007). Le Bureau de Normalisation Indien (BIS) a également publié des normes

concernant ces pompes (Annexe 2). Ces normes indiennes sont cruciales car la plupart des pièces composant les pompes India Mark II disponibles sur le marché mondial sont fabriquées en Inde.

Ces modèles de pompes sont solides ; s'ils sont fabriqués et assemblés en suivant les normes évoquées et sont entretenus correctement -notamment par un remplacement régulier des pièces les plus sollicitées- ils peuvent durer 20 ans. Il semble que l'une des principales causes de pannes précoces pour ces PMH serait

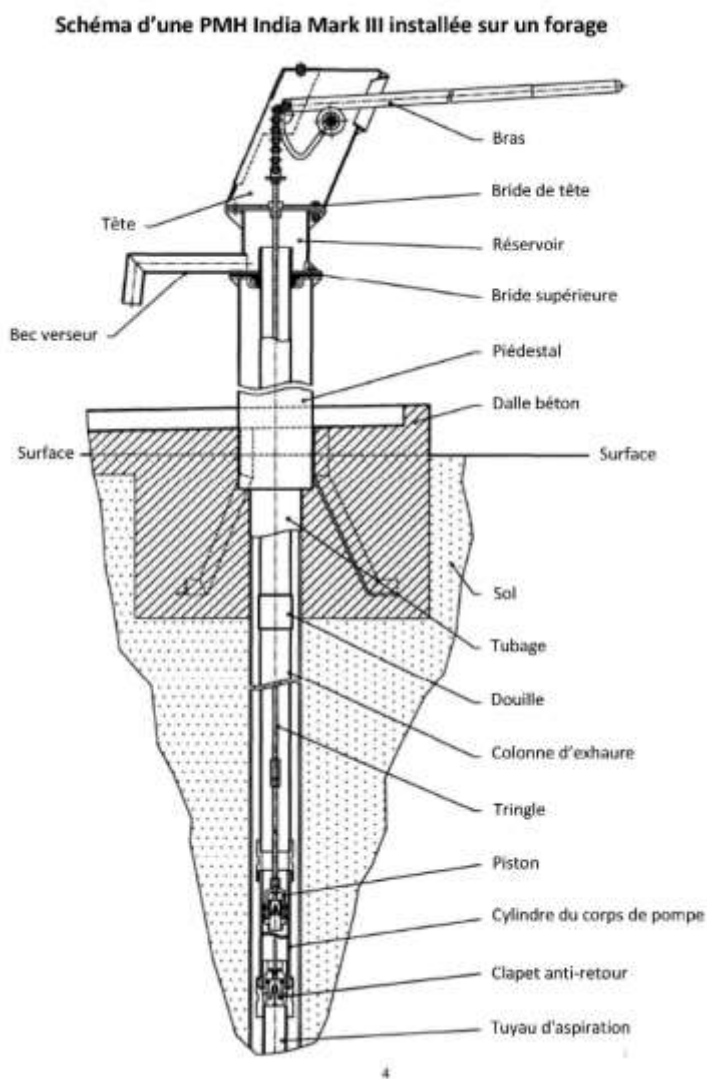


Image 1: Schéma d'une PMH India Mark III installée sur un forage

¹ Appelé précédemment le Réseau Technique des PMH (Handpump Technology Network - HTN), dont le secrétariat est assuré par Skat à St. Gall, en Suisse.

l'utilisation de pièces qui ne respectent pas les normes du RWSN et du BIS (Bonsor et al, 2015; Casey et al, 2016; Furey, 2014).

La corrosion des PMH est un phénomène récurrent dans de nombreux pays. Ce phénomène a pour conséquence que les utilisateurs, insatisfaits du goût et de la couleur de l'eau pompée ou découragés par les dysfonctionnements précoces de certaines pièces de la pompe, soit abandonnent cette source d'approvisionnement soit se trouvent forcés de financer des réparations potentiellement très coûteuses.

3 Le fer et la corrosion

Des taux de fer élevés ont été constatés dans les eaux pompées à l'aide de pompes India II et III dans quelques régions de plusieurs pays. Ces concentrations en fer peuvent être soit naturelles, soit liées à la corrosion des pièces de la PMH, ou bien la résultante de ces deux phénomènes conjugués:

- Le fer d'origine naturelle - le fer est présent dans les sols et dans les formations rocheuses soit sous sa forme réduite soluble (Fe^{+2}) soit sous sa forme oxydée insoluble (Fe^{3+}). Lorsque les eaux sont souterraines la forme soluble Fe^{+2} y demeure telle quelle et y est incolore. Toutefois, lorsque l'eau est pompée à l'air libre et est exposée à l'atmosphère l'élément Fe^{+2} s'oxyde en Fe^{3+} , qui réagit à son tour et forme des hydroxydes de fer insolubles. La précipitation des hydroxydes crée une opacité qui apparaît rougeâtre dans l'eau et qui laisse des traces orangées.
- Les eaux souterraines pompées manuellement peuvent aussi être très concentrées en fer si l'eau est agressive et corrode des pièces de la pompe. La corrosion est un problème complexe qui dépend de plusieurs facteurs. Il n'y a pas d'index universel permettant de prédire un degré de corrosion selon l'ensemble des types de qualité d'eau (Annexe 1). Ce qui est clair en revanche est que si le pH est inférieur à 6.5 la galvanisation ne protège pas la colonne d'exhaure (également appelé le tuyau ascendant) contre la corrosion, et que si le pH est compris entre 6.5 et 7, la galvanisation n'offre qu'une protection très limitée (Langenegger, 1994). Les tringles en acier inoxydable ont des taux de corrosion d'un ordre de grandeur moindre que le fer galvanisé (Langenegger, 1994).

Dans certains cas la présence de fer est due à la fois à des phénomènes naturels et à la corrosion des pièces des PMH. Des tests simples existent alors pour en distinguer les différentes sources (Casey et al, 2016).

L'une des méthodes utilisées afin de prévenir la corrosion des PMH est de réhabiliter les pompes progressivement pour les rendre anti-corrosives. Voici-ci après quelques exemples de réhabilitation à ce propos:

- Afridev au Mozambique, au Nigéria, en Tanzanie et en Ethiopie (Bauman and Furey, 2013)
- Afridev et une version modifiée de l'India Mark II avec des pièces en acier inoxydable au Ghana (MacArthur, 2015)
- Des pièces en acier inoxydable fournies dans le cadre de programmes financés par des bailleurs en Zambie (MacArthur, 2015)
- Des problèmes de corrosion sur les pompes India Mark II et III (appelées U2 et U3 en Ouganda) dans l'ouest de l'Ouganda ont conduit à la création d'une pompe U3M résistante à la corrosion. De plus, en 2016 le Ministère de l'Eau et de l'Environnement a publié une directive enjoignant le secteur à ne plus utiliser de pièces en fer galvanisé (Liddle and Fenner, 2018).
- L'utilisation de colonnes d'exhaure en acier inoxydable par World Hope en Sierra Leone (Furey, 2014)
- Le remplacement des tuyaux galvanisés par des tuyaux en PVC et des tringles en acier inoxydable dans le cadre du projet d'USAID/PEPAM dans le sud du Sénégal (Furey, 2014)
- S'assurer qu'il n'y a pas un mélange d'acier inoxydable et de laiton, car le laiton entrainera la corrosion de l'acier inoxydable (Van Beers, 2018)

En dépit de ces quelques initiatives, la corrosion reste un problème récurrent dans de nombreuses régions et n'a malheureusement toujours pas été évalué de façon systématique. Furey (2014) a indiqué des soucis de corrosion et/ou de fortes concentrations en fer dans 13 pays d'Afrique sub-saharienne, ainsi qu'en Bolivie et en Inde. Danert et al (2017) ont étudié les problèmes de corrosion au Burkina Faso.

Les recherches effectuées en Ouganda ont montré qu'il n'est pas aisé de passer progressivement à des pièces et des matériaux résistants à la corrosion. En Ouganda, la chaîne d'approvisionnement en matériaux et en pièces détachées capables de résister à la corrosion souffre d'une qualité trop variable de ces produits là, d'une demande relativement faible, de stocks peu fournis et de la domination persistante du marché par les tringles et les colonnes d'exhaure galvanisées (Liddle and Fenner, 2018). Il est encore trop tôt pour évaluer le succès de la directive ougandaise de 2016 mais des études récentes montrent que toutes les agences ne suivent pas encore les recommandations concernant les colonnes d'exhaure, visiblement à cause des coûts élevés de l'acier inoxydable : les pièces recommandées dans la directive coûtent 4 à 5 fois plus cher que celles en fer galvanisé (Liddle and Fenner, 2018).

Cependant, Furey (2014) rappelle que même le choix du type d'acier inoxydable doit être effectué avec précaution car la proximité de deux qualités de métal différentes peut engendrer un potentiel électrique et donc une corrosion électrochimique. Ainsi l'acier inoxydable de type 304 rouillerait en présence d'acier inoxydable de type 316 (d'après des contributeurs à Furey, 2014).

4 Les pièces composantes des PMH : une situation préoccupante à plusieurs niveaux

4.1 Le Burkina Faso

Six marques de PMH (India II, Vergnet, Diacfa, Volanta et Kardia) sont utilisées au Burkina Faso, mais les India II et les Vergnet sont apparemment les pompes favorites actuellement. La corrosion des PMH est un problème très répandu au Burkina Faso. Bien que certaines structures disent utiliser des colonnes d'exhaure en acier inoxydable plutôt que des modèles en fer galvanisé pour l'India II, le gouvernement a appelé à une certaine vigilance quant à la qualité du type d'acier inoxydable utilisé, et a rappelé la propension de l'acier à se corroder également. Les contrôles des équipements menés en 2013 et 2014 sur le terrain ont effectivement décelé de sérieux problèmes de corrosion (Danert *et al*, 2017).

En février/mars 2017 Skat Foundation a été engagée par l'UNICEF pour mener une étude rapide du secteur du forage au Burkina Faso. Cette étude a montré que plusieurs facteurs interdépendants limitent la qualité des forages produits dans le pays. Ces facteurs incluent notamment : le manque de compétences du secteur public pour superviser les travaux de forage, des prix de références non-actualisés et dépassés, la brièveté de la saison annuelle de forage du fait des délais de passation de marchés, les défauts de rédaction et de suivi des contrats, le démarrage de la saison des pluies, et la piètre qualité des pièces composantes des PMH.

Concernant les pièces composantes des PMH, UNICEF Burkina Faso importait auparavant les PMH directement depuis les usines certifiées en Inde, mais ce n'est plus le cas. Actuellement, plusieurs fournisseurs à Ouagadougou importent leur matériel d'Inde (et d'autres pays éventuellement) et vendent les pièces de PMH aux entreprises de forages qui les installent dans le cadre de contrats d'équipement avec le gouvernement, des ONGs, l'UNICEF et potentiellement pour des clients privés également.

India II ne fait pas l'objet d'un brevet ni d'un permis de production : le marché en propose des modèles dont la qualité est extrêmement variable d'un fournisseur à l'autre. La qualité très médiocre des pompes d'entrée de

gamme et des pièces issues de la contrefaçon est préoccupante. Le gouvernement a décidé d'améliorer la situation et a cherché conseil sur la meilleure façon de garantir la qualité des tringles et des colonnes d'exhaure en acier inoxydable. Danert *et al* (2017) ont recommandé que le Burkina Faso élabore des mécanismes d'assurance qualité pour les pièces d'India II dans le cadre de la procédure d'accréditation professionnelle ou d'obtention de permis des fournisseurs. En amont de ce type de mesures et afin de mieux comprendre la qualité des produits disponibles à ce jour sur le marché, un petit échantillon de pièces composantes de PMH a été prélevé au Burkina Faso et envoyé en Suisse pour une batterie de tests de matériaux. Les procédures de tests et les résultats sont présentés ci-après dans le chapitre 6.

4.2 Les autres pays

Le Burkina Faso est loin d'être le seul pays à être concerné par l'utilisation de matériaux de piètre qualité (tout particulièrement pour les tringles et les colonnes d'exhaure en acier inoxydable ou en fer galvanisé). Malheureusement, à quelques exceptions près (cf Encart 1), il existe trop peu de rapports et d'articles universitaires sur la qualité des pièces composantes des PMH. Au cours de ces dernières années plusieurs membres du Réseau pour l'Approvisionnement Rural en Eau (RWSN) ont parlé et ont écrit à l'auteur à ce propos, soit en réponse à des questions posées par l'auteur sur le forum de discussion en ligne du groupe RWSN consacré au « Développement durable des eaux souterraines »², soit en réaction spontanée à d'autres publications. Parmi leurs préoccupations quatre thèmes majeurs se dégagent: tout d'abord la qualité des matériaux et des pièces composantes, ensuite le contrôle qualité, puis le niveau anormalement bas de certains prix, et enfin les pratiques d'achat et d'approvisionnement. Lorsque la référence mentionnée indique « (Anon, nd) », la citation en question a été confiée de façon anonyme par des experts du secteur mais n'a pas pu être vérifiée. L'auteur considère toutefois ces expériences comme non-négligeables pour mieux cerner ce sujet qui reste par ailleurs très peu documenté.

Encart 1 : Les préoccupations quant à la qualité des tringles et des colonnes d'exhaure en acier inoxydable en Ouganda

Liddle and Fenner (2018) indiquent que les acteurs du secteur en **Ouganda** les ont informés que des pièces faites de types d'acier inoxydable de qualité très médiocre, sujet à la corrosion, sont de plus en plus importées et installées, et qu'il n'existe actuellement aucune régulation de part du Bureau de Normalisation Ougandais sur la qualité de ces matériaux importés: *"Nous devons importer l'[acier inoxydable], celui que nous utilisons nous l'importons d'Inde. Nous choisissons du type 304 ou 305. Le gros problème ici c'est que beaucoup préfèrent importer de Chine et que la qualité y est terrible, de type 202 seulement. Mais l'Ouganda n'a pas de mécanisme pour vérifier les types d'acier lorsque les cargaisons arrivent dans le pays, donc nous nous retrouvons avec une utilisation croissante d'acier inoxydable de qualité déplorable"* (Un entrepreneur foreur).

La qualité des matériaux et des pièces composantes

- **Des chutes et des matériaux de rebut sont vendus sous les appellations acier inoxydable 202** ainsi que 304, 304L et 316 (Encart A.5.1):
 - Les problèmes de qualité des aciers inoxydables ne sont pas nouveaux. Le Programme Danida mis en place sur le littoral de l'Orissa (1986-92) y était déjà confronté, et avait en réponse changé de type d'acier passant du 304 au 316. (Anon, nd)
 - *"Les ONGs ont été très critiquées sur le fait d'avoir installé dans des eaux corrosives des pompes dont les pièces galvanisées étaient de mauvaise qualité, pourtant même lorsqu'on choisit des*

² https://dgroups.org/rwsn/groundwater_rwsn

options beaucoup plus chères [en acier inoxydable] on fait face à ce type de problèmes... nous avons commencé à acheter des kits de pompes avec des tringles en acier inoxydable auprès d'un fournisseur local... [mais nous avons ensuite reçu] de nombreux rapports indiquant que les pompes dysfonctionnaient dès les premiers mois. Nous avons inspecté les équipements et avons constaté que les embouts des tringles se fissaient et se brisaient. Nous avons contacté le fabricant en Inde et avons appris que le fournisseur auprès de qui nous nous étions procuré le matériel achetait de [l'acier inoxydable] d'entrée de gamme constitué de chutes et rebuts de métaux. Nous sommes retournés interroger le fournisseur à ce sujet et il nous a répondu qu'il ne disposait pas de types d'acier de bonne qualité car personne n'était prêt à en payer le prix. Nous avons donc passé un accord lui assurant un volume minimum de commandes afin qu'il prenne le risque d'importer pour nous des matériaux de bonne qualité. La qualité est excellente désormais, avec des joints filetés plutôt que crochetés. Nous avons comparé avec les tringles [en acier inoxydable] vendues par d'autres fournisseurs et avons constaté que ces dernières étaient simplement recouvertes d'une fine couche d'acier inoxydable qui s'écaillait parfois aux extrémités." (Norris, 2019)

- Dans certains pays d'Afrique, **les matériaux des colonnes d'exhaure des PMH disponibles sur le marché sont de qualité très variable**, notamment pour les colonnes d'exhaure en fer galvanisé:
 - La qualité de la galvanisation des colonnes montantes et d'autres pièces composantes est préoccupante (Anon)
 - Dégradation précoce du filetage des tringles trois mois seulement après l'installation de l'équipement au Niger (Abdou, 2018)
 - L'inspection visuelle par un expert des parties corrodées révèle qu'il n'y a eu aucun pré-traitement ou un pré-traitement insuffisant avant la galvanisation à chaud³ (Anon, nd).
 - Des protocoles de galvanisation non-conformes (Anon, nd).
 - Des colonnes d'exhaure en fer galvanisé dont l'épaisseur des parois est inférieure aux dimensions spécifiées (Anon, nd).
 - *"Des PMH de marque AOV IM2 achetées en Inde par une entreprise de forage chinoise opérant en Zambie. La plaque d'acier et les tuyaux en acier galvanisé étaient plus fins, et le poids global était bien moindre que celui de pièces conformes aux [spécifications de Skat]. Il manquait la 3^{ème} plaque. Les tringles avaient été enduites d'acier doux par galvanoplastie. Des centaines de pompes de ce type ont été installées dans toute la Zambie dans le cadre d'un contrat avec le Client Y. J'ai creusé un peu le sujet et finalement je ne suis même pas certain que les pompes provenaient d'AOV ou d'ailleurs. C'est en tout cas ce qu'indiquaient les plaques d'identification fixées sur les piédestals" (Anscombe, 2019b).*
- **Des pièces composantes de qualité médiocre:**
 - Vente de manchons de diamètre inférieur (11.2 à 11.6 mm Ø au lieu de 12 mm Ø) empêchant les filetages mâles et femelles de se connecter de façon adéquate, ce qui conduit à des dysfonctionnements précoces de l'équipement (Anon, nd). Utilisation de tringles de qualité médiocre et de diamètre inférieur (c.à.d. 12.5 mm au lieu des 14 mm requis) qui fait que les tringles se tordent car les matériaux sont trop souples (Anon, nd).
 - Les pièces et matériaux de la tête n'ont pas l'épaisseur de section requise, et ainsi alors que leur poids global devrait être aux alentours de 25kg, cela ne pèse que 20kg. L'utilisation de

³ Guide pour le pré-traitement dans le processus de galvanisation: <http://www.galvanizing.org.uk/learn-more/the-process/>

- matériaux plus fins réduit la résistance des pièces composantes et celle des soudures (Anon, nd).
- Utilisation de roulements à rouleaux de moins bonne qualité et réduction des dimensions de section (Anon, nd).
- La composition chimique de la chemise de cylindre inclut une plus forte concentration de plomb, ce qui la ramollit (Anon, nd).
- **Les problèmes rencontrés avec Afridev** incluent:
 - *“Le piston et la soupape de fond de la 3ème version (Rev 3) AFRIDEV sont en plastique. Ram Trivedi d’UNICEF Inde est venu au Malawi et nous en avons inspecté certaines chez des fournisseurs locaux. Il nous a montré le coin d’un sac plastique bleu dans un échantillon de soupape ! – et nous a expliqué que c’était une pratique courante à Delhi que de fabriquer ce type de pièces à partir des plastiques recyclés... ensuite les politiques d’attribution des marchés publics aux offres les moins-disantes font que le marché Africain est inondé par ce type de pièces”* (Anscombe, 2019b).
 - *“.. le crochet en fonte de l’AFRIDEV Rev 3, lorsqu’il est refroidi trop vite, souffre d’un défaut dans le moulage qui fait qu’il casse rapidement, ce qui contraint les utilisateurs à en acheter un nouveau pour le remplacer”* (Anscombe, 2019b).
 - Les modèles India Mark II et Mark III ne sont pas les seuls à souffrir de problèmes de qualité, les pompes Afridev sont concernées également (Anon, nd)

Des contrôles qualité inadéquats

- Le secteur industriel de fabrication des pompes ne dispose pas d’assez d’ingénieurs pour assurer un contrôle de la qualité des produits adéquat (Anon, nd).
- Le contrôle de la qualité des exportations indiennes, notamment de la marchandise qui est réellement chargée dans les containers, est insuffisant (Anon, nd).

Des prix anormalement bas

- Le niveau parfois anormalement bas des prix pratiqués est préoccupant car il force les fabricants – qui seraient prêts à produire des pièces de bonne qualité autrement – à abaisser leurs standards et la qualité des matériaux afin de rester compétitifs sur le marché (Anon, nd).
- Les acheteurs et les intermédiaires dictent aux fabricants des prix anormalement bas et dans le cadre desquels il est impossible de respecter les spécifications techniques optimales (Anon, nd).

Des pratiques de commande et d’achat problématiques

- Les clients commandent des matériaux de mauvaise qualité soit pour les installer soit pour les revendre avec une marge (Anon, nd).
- *“Pour le projet de la province du Nord Ouest en Zambie le contrat de PMH était multipartite entre le Ministère des Autorités Locales et du Logement, nous, le consultant en charge de l’organisation et KfW pour le financement lorsque l’accord a été signé. Il y a eu une phase de marché public avec appel d’offre, l’offre jugée la meilleure remportant le marché – et c’est le consultant qui pilotait l’évaluation... pour IM2 avec des colonnes d’exhaure et des cylindres tout en acier inoxydable... elles étaient chères à l’achat mais elles fonctionnent toujours 8 ans plus tard, ce qui montre bien qu’elles en valaient le prix* (Anscombe, 2018)
- *“Les contrats de forage et d’installation de pompes des programmes gouvernementaux sont souvent attribués aux offres les moins disantes, ce qui conduit inévitablement au choix de PMH moins chères et de moins bonne qualité que ce qui était souhaité initialement. Il existe une multitude d’ateliers clandestins qui fabriquent des pièces de PMH. Des entreprises d’exportations assemblent aussi les PMH à*

partir de pièces issues de différentes sources... ce sont les fournisseurs. Et puis il y a les fabricants, qui eux façonnent tous les composants, les assemblent et vérifient le bon fonctionnement des PMH sur site avant de les exporter. Les PMH des fabricants sont peut être 20\$ plus chères l'unité à l'achat que celles des fournisseurs mais elles valent le coût sur le long terme." (Anscombe, 2019a)

5 Spécifications techniques, normes, brochures et catalogues

Skat/le Réseau pour l'Approvisionnement Rural en Eau (RWSN) et le Bureau de Normalisation Indien (BIS) ont tous deux publié des normes et spécifications techniques relatives aux PMH India Mark II et III. De plus, les brochures et les sites internet des fabricants fournissent des informations complémentaires sur les produits qui peuvent, ou devraient, être commandés. Le catalogue d'achat de l'UNICEF référence en détail plusieurs modèles d'India Mark II et III, et les bureaux de l'UNICEF accompagnent toutes leurs commandes de spécifications techniques. Toutefois le contenu de ces différentes publications n'est pas toujours concordant, et des lacunes subsistent. Ce chapitre donne un aperçu de ces cinq sources d'informations. Cette mission n'incluait malheureusement pas une analyse complète de ces manques et incohérences. Cependant, nous espérons que ce chapitre fournira une bonne base pour que d'autres se saisissent de ce sujet plus en détail à l'avenir.

5.1 Les spécifications techniques du RWSN

Les spécifications techniques du RWSN les plus récentes pour les pompes India Mark ont été publiées en 2007. Ces spécifications concernent:

- Les tringles:
 - Acier doux
 - Acier inoxydable

Les spécifications pour les tringles indiquent que dans les cas où le pH de l'eau est <6.5, les tringles être faites d'acier inoxydable. Mais cette recommandation n'est pas très visible dans le document et il est facile de la manquer.

- La colonne d'exhaure et les raccords
 - Uniquement en fer galvanisé

Il n'est pas fait mention d'options en acier inoxydable ou en UPVC.

- Le montage du cylindre
 - India MK II – cylindre en fonte (GG20) et gaine en laiton
 - India MK III – cylindre en fonte (GG20) et gaine en laiton

Il n'est pas fait mention d'options en acier inoxydable ou en laiton.

Pour davantage de précisions à ce propos, cf Annexe 3 ci-après.

5.2 Les normes indiennes

IS 15500:2004 – *Deepwell Handpumps, Components and Special Tools Specifications* concerne les PMH suivantes, notamment leurs pièces constitutives et leurs outils:

- a) STANDARD (SDWP)
- b) VLOM 65
- c) VLOM 50

- d) EXTRA DEEP
- e) FORCE LIFT

Le premier tableau résume les types de PMH (ci-dessus) avec le diamètre du tubage et les prévisions de débit d'eau, mais il n'explique pas que les modèles VLOM-65 et VLOM-50 font référence à la pompe India III.

Ces normes ne couvrent que les colonnes d'exhaure en fer galvanisé, elles ne mentionnent pas les options d'acier inoxydable ni d'UPVC.

Il y a trois spécifications techniques à propos des bielles : deux différents types d'acier inoxydable et un d'acier doux (électro-galvanisé) sont évoqués, mais il n'y a aucune mention claire de ces options. En effet, il n'est pas facile de déterminer si les deux types d'acier inoxydables y sont présentés comme deux options ou si ce sont des erreurs de frappe, les deux appellations étant utilisées dans différentes parties du document. Les dessins techniques des bielles ne mentionnent que des matériaux électro-galvanisés mais la première partie de la norme fait référence à de l'acier inoxydable.

La section 8 fait référence à la section section 6.4 (qui n'existe pas).

Cette norme a fait l'objet d'un processus consultatif de révision et le 30 septembre 2018 était la date butoir pour l'envoi de commentaires. En 2018 l'auteur a tenté à plusieurs reprises, sans succès, de contacter le comité chargé de cette révision.

5.3 Les brochures et les sites internet des fabricants

Cette étude a analysé le contenu des sites internet de quatre fabricants de PMH indiens reconnus (Apex, Ajay, AOV and Meera & Ceiko) afin de déterminer quelles options de pièces ils proposent pour les bielles, les colonnes d'exhaure et les corps de cylindre/vérins du modèle India Mark II et de quelle façon les informations sont communiquées aux clients potentiels⁴. Des pièces de PMH sont également fabriquées au Nigéria, mais ces dernières ne sont pas comprises dans le champ de ce court rapport.

Apex International dispose de l'offre la plus complète et propose une brochure extrêmement claire qui mentionne même les options disponibles pour les "*eaux agressives*", bien que ce terme n'y soit pas précisé en termes de pH. AOV propose "d'autres options" pour les colonnes d'exhaure, les bielles et les corps de cylindre/vérins mais ne mentionne pas le sujet de la corrosion explicitement. Le site internet d'Ajay Engineering ne contient aucune information concernant les PMH⁵. Meera and Ceiko ne donne que l'option en fer galvanisé pour les colonnes d'exhaure. Les bielles sont indiquées comme étant électro-galvanisées contre la corrosion, et une option d'acier inoxydable est mentionnée. Pour les corps de cylindre/vérins, seuls des modèles en fonte sont proposés. L'encart 3 ci-après donne davantage de détails à ce sujet.

Le site internet Indiamart (2018) est un portail regroupant des dizaines de fabricants de PMH à travers toute l'Inde, et suggère qu'une pompe India Mark II peut être achetée pour la modique somme de 3 000 roupies (43\$ USD)⁶. De tels prix anormalement bas et l'augmentation exponentielle du nombre de fabricants de PMH posent questions quant au respect des normes de qualités et des spécifications techniques, et aux modalités à envisager pour les contrôles de conformité. Il est très difficile pour les clients de savoir à quel fabricant se fier (et quel fabricant est encore fiable) du fait de la multiplicité d'entreprises désormais présentes sur le marché et

⁴ L'offre proposée par SOVEMA (un fabricant français de premier ordre, notamment en Afrique francophone) n'a pas pu être analysée car le site internet (<https://www.sovema.fr/>) était momentanément hors-service pour maintenance.

⁵ <http://ajaypumps.com/>

⁶ Ce prix est celui indiqué sur le site internet, il n'a pas été communiqué dans le cadre d'une demande de devis

de l'absence d'un processus de certification internationalement reconnu. Les prix cassés pourraient avoir un effet ricochet sur la qualité des produits de fabricants désireux de respecter les normes techniques mais mis en difficulté par cette compétition cassant les prix du marché avec des produits de mauvaise qualité. Malheureusement, ce sont au final les usagers (c.à.d les membres des communautés rurales) qui en font les frais avec des pompes qui dysfonctionnent ou tombent rapidement en panne.

Encart 2 Détails concernant les informations disponibles sur les pièces de colonnes d'exhaure, de manchons et de corps de cylindre/vérins du modèle India Mark II sur les sites internet de fabricants indien de la PMH India Mark II

Apex International propose une brochure téléchargeable sous format pdf (Apex International, n-d). Elle donne trois options pour les colonnes d'exhaure et les corps de cylindre/vérins et deux options pour les manchons (tableau ci-dessous). La brochure (p5) a une petite section sur les options "adaptées aux eaux corrosives", c.à.d des corps de cylindre/vérins en laiton ou en acier inoxydable avec des embouts de vidange ; des bielles en acier inoxydable et des colonnes d'exhaure en acier inoxydable ou en UPVC.

Tableau **Options pour le modèle de PMH India Mark-II (Apex International, n-d)**

Colonne d'exhaure	Corps de cylindre/Vérins	Manchons
Option I	Fer galvanisé	Fonte et gainage en laiton
Option II	Acier inoxydable	Acier inoxydable
Option III	UPVC	Laiton

Le document AOL (2018) India Mark II «Caractéristiques principales », indique:

- "les colonnes d'exhaure sont des colonnes de diamètre 32 mm en fer galvanisé disponibles localement. D'autres options telles que l'UPVC, PEHD & FGP sont également disponibles"
- "Les bielles sont des barres d'acier polies étirées à froid avec des raccords filetés et sont electro-galvanisés contre la corrosion. Pour de meilleures performances, des bielles en acier inoxydable ou FGP sont également disponibles".
- "Le corps de cylindre/vérin est constitué d'un tubage en fonte avec une gaine polie en laiton, un piston en « gun metal » et des clapets anti-retour. Les joints proposés (corps de piston, joints de soupape et bouchons) sont en caoutchouc nitrile respectueux de l'environnement. D'autres options incluent de l'acier inoxydable, du laiton et de l'UPVC. Le corps de cylindre/vérin est compatible avec les pièces Universal Cylindre".

Les « Caractéristiques » de Meera and Ceico (2018) pour la PMH India Mark II indiquent:

- "Les colonnes d'exhaure sont des colonnes standard de 32mm de diamètre en fer galvanisé disponibles localement".
- " Les bielles sont des barres d'acier polies étirées à froid avec des raccords filetés, électro-galvanisé contre la corrosion. Des bielles en aciers inoxydables sont également disponibles".
- " Le corps de cylindre/vérin est constitué d'un tubage en fonte avec une gaine polie en laiton, un piston en « gun metal » et des clapets anti-retour ".

5.4 Fiches produits issues du catalogue d'approvisionnement de l'UNICEF

Le catalogue d'approvisionnement de l'UNICEF comprend une série d'options pour les PMH India Mark II et III, avec différentes configurations pour les colonnes d'exhaure et les bielles notamment en fer galvanisé, en acier inoxydable et en UPVC. D'après Harvey (2018) "l'option UPVC avec les raccords en acier inoxydable est la plus courante ces dernières années (par ex. pour le Nigéria, qui est le plus grand compte en termes de commandes)."

L'annexe 4 donne davantage de détails sur quatre "fiches produits" portant sur un éventail d'options non couvertes par les spécifications techniques du RWSN et du Bureau de Normalisation indien, c-à-d :

- Pour les colonnes d'exhaure
 - UPVC avec des raccords filetés en UPVC
 - UPVC avec des raccords filetés en acier inoxydable
 - entièrement en acier inoxydable avec des manchons soudés en acier inoxydable également
- Pour les tringles
 - Acier inoxydable

La fiche produit S0009335 fait référence à IS:15500-2004 vis-à-vis du raccord fileté en UPVC bien que cette norme ne mentionne pas de raccord fileté en UPVC. Cette référence vise peut être les dimensions des manchons mais cela n'est pas clair.

Les corps de cylindre/vérins ne faisaient pas partie du champ d'analyse de cette étude.

5.5 Spécifications techniques dans les bons de commande de l'UNICEF

L'auteur a eu connaissance d'un exemple de bon de commande émis par un bureau de pays de l'UNICEF demandant des corps de cylindre/vérins en UPVC gainés en laiton et des colonnes d'exhaure en UPVC selon la norme IS 15500-2004 (bien que ces deux pièces ne fassent pas partie de cette norme). Il est difficile de déterminer si cela est une pratique très répandue.

6 La qualité des matériaux prélevés au Burkina Faso

6.1 Echantillonnage et protocoles de test

Afin de mieux comprendre la qualité des produits disponibles aujourd'hui sur le marché au Burkina Faso, un exemplaire de tringle et un exemplaire de colonne d'exhaure en acier inoxydable correspondant à la PMH India II ont été achetés auprès de trois fournisseurs en activité à Ouagadougou en février 2017⁷. En avril 2019, des échantillons complémentaires ont été prélevés directement sur cinq pompes qui étaient soit encore utilisées soit abandonnées. Ces échantillons complémentaires ont également été envoyés en Suisse pour être testés. Le tableau 1 donne un aperçu des échantillons qui ont été testés.

Les échantillons 1 à 6 ont été analysés pour déterminer la composition élémentaire de chaque échantillon. Conformément à la norme du Bureau de Normalisation Indien IS 15500 (BIN, 2004), le matériau des tringles en acier inoxydable doit respecter X04Cr19Ni9 ou X04CR18Ni10 (Table A1.1). Les échantillons 7 à 13 ont été soumis à des mesures quantitatives de la composition élémentaire de chaque matériau par rapport au matériau type 304/304L (numéro de matériau 1.4301 désigné sous X5CrNi18-10) ainsi qu'à un test de détection du plomb⁸ (Empa, 2019b). Pour davantage d'informations sur les types d'acier inoxydable, cf Annexe 5.

⁷ Trois sections de 20cm de longueur ont été prélevées aux deux bouts et au centre de chacun des six échantillons et les 18 sections ainsi obtenues ont été ramenées en Suisse pour être mesurées et testées afin de déterminer si elles étaient bien conformes aux spécifications techniques burkinabé en la matière.

⁸ La fluorescence X à dispersion de longueur d'onde (WD-XRF) est une technique d'analyse des surfaces permettant de détecter la présence d'éléments allant du fluor à l'uranium. L'échantillon est irradié par un faisceau de rayons X produit par un tube au rhodium. Le rayonnement fluorescent alors émis par l'échantillon passe par un collimateur qui parallélise les rayons puis est réfracté par un cristal analyseur et enregistré par un détecteur approprié. Le rôle du cristal est de réfracter et de séparer par longueur d'onde le spectre du rayonnement secondaire polychromatique renvoyé par l'échantillon; l'angle de réfraction du rayonnement X permet d'identifier les éléments; la mesure de l'intensité du rayonnement X en permet l'estimation quantitative. Les mesures ont été effectuées au moyen d'un appareil de type Rigaku Primus IV directement sur les pièces fournies. Le domaine des éléments identifiables s'étend du fluor à l'uranium. (Empa, 2019b).

6.2 Résultats des tests et évaluation

Parmi les six échantillons de colonnes d'exhaure, un seul était conforme à la norme internationale pour l'acier inoxydable SS304/304L. Deux tringles et les trois manchons à souder étaient conformes également. La faible teneur en nickel des cinq colonnes d'exhaure non-conformes signifie qu'elles sont moins résistantes qu'elles le devraient à la corrosion. De plus, les échantillons de pompes collectés directement sur les équipements installés dans les villages montrent que des matériaux de composition chimique différente sont parfois soudés entre eux, ce qui peut générer des processus électrochimiques qui sont facteurs de corrosion également. Des traces de plomb ont été identifiées dans deux des trois colonnes d'exhaure et dans deux des trois manchons à souder testés mais la faiblesse des concentrations relevées font qu'elles sont sans danger pour la santé humaine et pour l'environnement.

Tableau 1 Résumés des échantillons de pièces composantes testés et de leur conformité aux normes correspondantes

No.	Type de pièce composante	Photo	Origine	Conformité
1	Colonne d'exhaure		Ouagadougou Fournisseur 1	OUI
2	Colonne d'exhaure		Ouagadougou Fournisseur 2	NON
3	Colonne d'exhaure		Ouagadougou Fournisseur 3	NON
4	Tringle		Ouagadougou Fournisseur 1	OUI
5	Tringle		Ouagadougou Fournisseur 2	NON
6	Tringle		Ouagadougou Fournisseur 3	NON
8	Tringle		Pompe Volanta d'Ouakoye, quartier Madina	OUI
7	Colonne d'exhaure		Pompe India II du village Sokogo	NON
9	Colonne d'exhaure		Pompe India II d'Ouakoye, quartier Abattoir	NON
10	Colonne d'exhaure		Pompe India II de Darao	NON
11	Manchon soudé		Pompe India II d'Ouakoye, quartier Abattoir	OUI
12	Manchon soudé		Pompe India II d'Ouakoye, quartier Abattoir	OUI
13	Manchon soudé		Pompe India II du village Sokogo	OUI

Pour les échantillons 1 à 6, la détermination quantitative des éléments faisant l'objet de la demande a été effectuée selon la procédure SOP 3828 de l'Empa. La procédure a été modifiée pour les éléments manganèse, nickel et cuivre des échantillons 2, 3, 5 et 6 dont la concentration massique a été adaptée à l'étalonnage. Les analyses ont fait l'objet de 3 déterminations indépendantes (n=3). Pour les échantillons 7 à 13, la détermination quantitative des éléments faisant l'objet de la demande a été effectuée selon le procédé SOP 3803 de l'Empa. La procédure a été modifiée pour les éléments manganèse, nickel et cuivre dont la concentration massique a été adaptée à l'étalonnage. Les analyses ont fait l'objet de 2 déterminations indépendantes (n=2.) (Empa, 2019b). L'annexe 6 présente l'analyse chimique complète. Les rapports Empa fournissent les compléments de détail suivants:

- Les échantillons 1 et 4 correspondent aux matériaux X04Cr19Ni9 ou X04Cr18Ni10, compte tenu de la marge d'erreur de la méthode d'analyse appliquée. Leur composition chimique est comparable. Les échantillons 2, 3, 5 et 6 ne correspondent à aucune dénomination officielle de matériau. Leur composition chimique est comparable. Etant donné leur teneur massique en nickel limitée, ils offrent une moindre résistance à la corrosion que les échantillons 1 et 4 (Empa, 2019a).
- Des traces de plomb (Pb) de l'ordre de quelques centaines de µg/g (ppm) ont pu être mises en évidence dans les échantillons 7, 10, 11 et 13. Du point de vue de la toxicité pour l'homme et l'environnement, ces concentrations peuvent être considérées inoffensives. (Empa, 2019b).
- Les valeurs des échantillons de tubes de conduite n° 7, 9 et 10 ne correspondent pas aux valeurs attendues du matériau SS 304 / 304L, matériau n° 1.4301, X5CrNi18-10. Ces échantillons présentent une composition chimique comparable. Ils ne correspondent à aucune dénomination officielle de matériau (Empa, 2019b).
- Les valeurs des échantillons de manchons n° 11, 12 et 13 correspondent bien au matériau SS 304 / 304L, matériau n° 1.4301, dénomination X5CrNi18-10 (Empa, 2019b).
- Les valeurs de l'échantillon de tige de pompe n° 8 correspondent bien à celle du matériau dit STS303Cu (République de Corée) (Empa, 2019b).
- Il est essentiel, lors du choix de matériaux entrant en contact les uns avec les autres, de s'assurer qu'ils ne provoquent pas de réactions électrochimiques (Empa, 2019b).

7 Conclusions

Les 13 pièces composantes qui ont été testées dans le cadre de cette étude forment un trop petit échantillon pour s'avérer statistiquement représentatives de la situation du Burkina Faso dans son ensemble. Cet échantillon corrobore toutefois l'inquiétude du Gouvernement au sujet de certaines pièces composantes en soit disant acier inoxydable disponibles actuellement sur le marché, bien que l'ampleur du problème reste encore à déterminer. Quelques colonnes d'exhaure et tringles vendues comme étant en acier inoxydable et installées comme telles ne sont en réalité pas faites des bons matériaux et ne résistent donc pas autant à la corrosion que ce à quoi l'on pourrait s'attendre. De plus, cette étude a constaté que différents métaux sont parfois soudés (par exemple la colonne d'exhaure et le manchon), ce qui peut générer des phénomènes de corrosion électrochimique. Élément tout aussi important et plus rassurant à noter, il est également possible d'acheter sur le marché des colonnes d'exhaure, des tringles et des manchons tout à fait conformes aux spécifications techniques optimales: six des treize échantillons respectaient bien les normes internationales.

Cette étude rapide a révélé une série d'enjeux interconnectés pour le Burkina Faso et au-delà:

1. Il n'y a pas assez d'articles et de publications portant sur les performances des pièces composantes en acier inoxydable afin d'éviter la corrosion des pièces de PMH appelées à être immergées dans des eaux souterraines agressives. Davantage d'études sont nécessaires sur le sujet.

2. L'examen d'IS 15500 révèle que la norme pourrait contenir quelques erreurs dans ses spécifications techniques et ses référencements. Les normes indiennes n'indiquent rien sur les options d'India Mark II et III dans les cas d'eaux souterraines agressives. Les normes internationales (RWSN et BIN) portant sur les matériaux des pièces de PMH adaptés aux eaux souterraines agressives pourraient être améliorées pour permettre aux organisations commanditaires de PMH de mieux spécifier leurs attentes dans leurs bons de commande. Les bons de commandes s'appuient en effet souvent sur plusieurs normes, en témoigne le catalogue bordereau d'approvisionnement de l'UNICEF, ce qui complique le contrôle de conformité auprès des fournisseurs.
3. De nombreuses entreprises en Inde vendent des PMH et des pièces de modèles India Mark II et III. Certains prix de vente pratiqués sont si bas qu'il semble impossible que la qualité de ces pompes et pièces soit conforme aux normes internationales.
4. Il n'existe aucun organisme international chargé de contrôler systématiquement la qualité des matériaux de PMH, et le rôle et l'activité du Bureau de Normalisation International à ce sujet ne sont ni clairs ni évidents.
5. Lorsque les PMH sont achetées dans le pays où elles doivent être installées, la longue chaîne d'approvisionnement (souvent anonyme de surcroît du fait de la multiplicité des intermédiaires) fait qu'il n'existe pas ou peu de lien entre les fabricants (situés majoritairement en Inde) et les installateurs des PMH en question. De plus, l'absence de compilation systématique des problèmes rencontrés préalablement signifie que les agences, les entreprises et les ménages s'engagent dans l'installation de PMH sans saisir l'ampleur de ces soucis de qualité et ne s'en rendent compte que trop tard.
6. De nombreuses PMH utilisées en Afrique sont importées d'Inde (et visiblement du Nigéria également), donc les efforts menés pour résoudre cet enjeu de garantie de qualité doivent absolument inclure l'Inde ainsi que plusieurs pays africains.
7. L'intérêt des financeurs pour les équipements de PMH est probablement actuellement au plus bas depuis 30 ans, il s'avère donc très difficile de mobiliser à grande échelle pour développer un protocole de certification internationale ou financer davantage de recherches à ce sujet. Une telle initiative nécessiterait d'une part des investissements supplémentaires et d'autre part des engagements de long terme de la part des principales agences et des gouvernements qui financent et mettent en œuvre des programmes d'installation et d'entretien de PMH.

S'assurer en permanence de la qualité des PMH India II et III et Afridev est un défi pour le Burkina Faso et pour d'autres pays. La qualité de certaines pièces composantes d'Afridev a été mise en cause dans un autre pays, mais l'ampleur du problème reste inconnue à ce stade. Les PMH India Mark II et III, et Afridev, sont les modèles de pompes les plus répandus dans de nombreux pays, avec des chaînes d'approvisionnement en pièces détachées adéquates souvent bien établies. Ce rapport en témoigne, le constat est celui d'un échec du « marché » à fournir systématiquement des matériaux de haute qualité. Afin de rectifier cette situation il est nécessaire de trouver des solutions à la fois au sein des pays d'importation, comme le Burkina Faso, et au niveau international.

Nous espérons que cette courte étude attirera l'attention des gouvernements, des organismes de recherche et des agences internationales d'aide au développement et les incitera à examiner les façons dont les problèmes pressants que sont la corrosion et la mauvaise qualité des pièces composantes des PMH peuvent être résolus. Si rien n'est fait la communauté mondiale de l'approvisionnement en eau, par négligence ou désintérêt, prive de fait les populations rurales du Burkina Faso et d'ailleurs des bénéfices d'un approvisionnement en eau élémentaire et fiable.

Références

- ABDOU, O (2008) RE: [groundwater_rwsn] RE: New UPGro paper/report: The impact of procurement and siting procedures on handpump functionality in Uganda, [en ligne] RWSN Sustainable Groundwater Development, 23 août 2018, disponible sur <https://dgroups.org/rwsn/groundwater_rwsn>
- ANON (no date) Statement provided by experts to the author anonymously via email, phone or Skype between 2017 and 2019
- ANSCOMBE, J (2018) [groundwater_rwsn] RE: :: New UPGro paper/report :: The impact of procurement and siting procedures on handpump functionality in Uganda, [Online] RWSN Sustainable Groundwater Development, 18 August 2018, Available from <https://dgroups.org/rwsn/groundwater_rwsn>
- ANSCOMBE, J (2019a) [groundwater_rwsn] Problem with Stainless Steel Handpump Components, [Online] RWSN Sustainable Groundwater Development, 5 April 2019, Available from <https://dgroups.org/rwsn/groundwater_rwsn>
- ANSCOMBE, J (2019b) [groundwater_rwsn] Problem with Stainless Steel Handpump Components, [Online] RWSN Sustainable Groundwater Development, 1 May 2019, Available from <https://dgroups.org/rwsn/groundwater_rwsn>
- AOV (2018) Hand Pump >> India Mark II [en ligne], <http://www.aovinternational.net/india_mark_II.php>, visité le 28 août 2018
- APEX INTERNATIONAL (no date) Hand Pumps for Safe Drinking Water, Apex International, disponible sur: <http://5.imimg.com/data5/XJ/LA/MY-855856/hand-pumps.pdf>, visité le 28 août 2018
- ARLOSOROFF, S., TSCHANNERL, G., GREY, D., JOURNEY, J., KARP, A., LANGENEGGER, O., et ROCHE, R. (1987) Community Water Supply: the handpump option. Rural Water Supply Handpumps Project, UNDP/World Bank, The World Bank, Washington D.C., USA, disponible sur: <http://www.rural-water-supply.net/en/resources/details/409>
- BAUMAN & FUREY (2013) How three handpumps revolutionised rural water supplies in Africa, Rural Water Supply Network (RWSN), disponible sur <http://www.rural-water-supply.net/ressources/documents/default/1-475-2-1363951079.pdf>
- BIS (2004) DEEPWELL HANDPUMPS, COMPONENTS AND SPECIAL TOOLS – SPECIFICATIONS, IS 15500 (Part 1 to 8):2004, BUREAU OF INDIAN STANDARDS
- BONSOR, H.C., OATES, N., CHILTON, P.J., CARTER, R.C., CASEY, V., MACDONALD, A.M., ETTI, B., NEKESA, J., MUSINGUZI, F., OKUBAL, P., ALUPO, G., CALOW, R., WILSON, P., TUMUNTUNGIRE, M. AND BENNIE, M. 2015 A Hidden Crisis: strengthening the evidence base on the current failure of rural groundwater supplies, 38^e Conférence internationale du WEDC, 2015, Loughborough University, UK.
- CASEY, V, BROWN, L., CARPENTER, JD, NEKESA, J and ETTI, B (2016) The role of handpump corrosion in the contamination and failure of rural water supplies, Waterlines Vol. 35 No. 1., <<http://www.developmentbookshelf.com/doi/pdf/10.3362/1756-3488.2016.006>>
- DANERT, K, OUEDRAOGO, J.P, AMADOU, B and ZOMBRE, A (2017) Bonnes pratiques pour la réalisation de forages au Burkina Faso: Note de Mission 2017, Skat Foundation, Direction Générale des Ressources en Eau, Available at <https://www.rural-water-supply.net/en/resources/details/825>

- DANERT K, OUEDRAOGO JP, BALIMA A, AND ZOMBRE A (2019) Good practice for borehole drilling in Burkina Faso: 2017 Mission Report, Skat Foundation, Direction Générale des Ressources en Eau, Burkina Faso & UNICEF, Available at <https://www.rural-water-supply.net/en/resources/details/849>
- EMPA (2019a) Rapport d'analyse n°. 521421676, Empa Materials Science and Technology, Dübendorf, Suisse
- EMPA (2019) Rapport d'analyse n° 521421676_2, Empa Materials Science and Technology, Dübendorf, Suisse
- FUREY S. G. (2014) *Handpumps: where now?* A synthesis of online discussions (2012-2014), Skat Foundation , RWSN , St Gall, Suisse, disponible sur : <http://www.rural-water-supply.net/en/resources/details/614>
- HARVEY, P.A. AND SKINNER, B.H. (2002) *Sustainable Handpump Projects in Africa: Report on Fieldwork in Zambia* [pdf] Leicestershire, UK: Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University <http://wedc.lboro.ac.uk/docs/research/WEJW2/Report - Zambia.pdf>
- HARVEY, P.A., JAWARA, D. AND REED, R.A. (2002) *Sustainable Handpump Projects in Africa: Report on Fieldwork in Ghana* [pdf], Leicestershire, UK: Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University <http://wedc.lboro.ac.uk/docs/research/WEJW2/Report - Ghana.pdf>
- HARVEY, P. (2018) *Personal Communication*, Email RE: India II and II Specs used for purchase, 23 août 2018,
- INDIAMART (2018) *Deepwell Hand Pump* [en ligne], <https://dir.indiamart.com/impcat/deepwell-hand-pump.html>, visité le 29 août 2018
- LANGENEGGER, O. (1994) *Groundwater Quality and Handpump Corrosion in Africa*, UNDP-World Bank Handpumps Project, disponible sur: <http://www.rural-water-supply.net/en/resources/details/604>
- LIDDLE E. AND FENNER, R. (2018) *Review of handpump-borehole implementation in Uganda*, British Geological Survey, Groundwater Programme, Open Report OR/18/002
- MACARTHUR, J. (2015) *Handpump Standardisation in Sub-Saharan Africa: Seeking a Champion*. RWSN Publication 2015-1 , RWSN , St Gall, Suisse, disponible sur <http://www.rural-water-supply.net/en/resources/details/652>
- MEERA and CEICO (2018) *INDIA MARK II Deep Well Hand Pump* [Online], < <http://www.meera-ceiko.com/India2.html>>, visité le 28 août 2018
- SKAT/RWSN (2004) *India Handpump Specifications Revision 1-2004*, Skat/Rural Water Supply Network, St Gallen, Switzerland,
- SKAT/RWSN (2007) *India Handpump Specifications Revision 2- 2007*, Skat/Rural Water Supply Network, St Gallen, Switzerland, <<http://www.rural-water-supply.net/resources/documents/default/1-327-2-1341317788.pdf>>
- UNDP-World Bank Water and Sanitation Program, Water and Sanitation Report 8 <<http://www.ruralwater-supply.net/en/resources/details/604>>
- WIKIPEDIA (2018) SAE steel grades [en ligne], https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_steel_grades visité le 21 août 2018
- VAN BEERS (2018) [groundwater_rwsn] *NOW UNLOCKED: The role of handpump corrosion in the contamination and failure of rural water supplies* [Online] RWSN Sustainable Groundwater Development, 1 avril 2018, disponible sur <https://dgroups.org/rwsn/groundwater_rwsn>

Annexe 1 Une très brève introduction à la corrosion

La corrosion advient lorsque des produits chimiques attaquent la surface des matériaux. Des matériaux ferreux tels que l'acier doux ou le fer galvanisé se corrodent plus facilement, mais le béton, le verre, le plastique, et d'autres matériaux peuvent aussi souffrir de corrosion (Langenegger, 1994). La corrosion est le processus d'oxydation des métaux, par lesquels ceux-ci reviennent à leur état naturel. C'est une réaction d'oxydoréduction (redox) et l'on distingue trois types de corrosion:

- La corrosion chimique – le métal est en contact avec des agents oxydants (par exemple l'oxygène, l'hydrogène, et le dioxyde de carbone).
- La corrosion électrochimique – l'exemple classique est la corrosion bimétallique, ou galvanique, qui a lieu lorsque deux métaux différents sont connectés par deux électrons et en contact avec un électrolyte.
- La corrosion physico-chimique est causée par une combinaison d'effets physiques et chimiques.

La corrosion peut aussi être influencée par les processus biologiques, surtout l'activité microbiologique des ferrobactéries.

"...Il est évident que le phénomène complexe de la corrosion est régi par de multiples facteurs chimiques, physiques, biologiques et métallurgiques, et qu'on ne peut donc envisager une approche universelle ni une solution unique à ce phénomène. Il n'existe pas d'index universel permettant de prédire la corrosion dans l'ensemble des systèmes aqueux ni selon toutes les variétés de qualité de l'eau" (AWWA-DVGW, 1985)

Langenegger (1994) décrit les formes les plus communes de corrosion électrochimique, qui correspondent à un élément galvanique comprenant une anode, une cathode, une connection électrique entre les deux, et un électrolyte. En résumé:

- La corrosion uniforme est une attaque relativement régulière sur la surface métallique. Elle a lieu surtout au niveau de la partie ascendante des PMH, et est souvent accompagnée de la corrosion par piqûre.
- La corrosion par piqûre, ou attaque locale est la concentration locale de corrosion, soit en très petites taches ou sur des zones relativement larges. Elle a lieu dans des zones d'oxydation anodique stationnaire, et peut être causé par des imperfections du matériel, une haute concentration en oxygène ou en chlorure, des courants vagabonds ou des couches superficielles de protection endommagées. La corrosion par piqûre peut se développer rapidement et peut entraîner la perforation.
- La corrosion galvanique ou bimétallique a lieu lorsque deux métaux non semblables sont connectés électriquement et en contact avec un électrolyte, tel qu'une tringle en fer galvanisé et un cylindre en laiton. Le taux de corrosion est bien en deçà de celui de la corrosion électrochimique.
- La corrosion caverneuse et la corrosion par pile de concentration se développe facilement dans les fissures et dans les rivets et les boulons.
- La corrosion intergranulaire ou inter cristalline a lieu seulement à l'interface des cristaux et est observée sur l'acier inoxydable.
- La corrosion sous tension peut se développer dans tout métal sous tension de traction dans un environnement corrosif. Cela peut entraîner un craquement inter cristallin (le long de l'interface des cristaux) et un craquement transcristallin (à travers les cristaux). Le craquement lié à la corrosion sous tension peut avoir des répercussions sur les tringles, particulièrement ceux qui sont dans les installations sous haute tension de traction dans les pompes. Cela peut entraîner des fissurations qui sont typiques dans les cas de rupture des tringles.

Pompes à Motricité Humaine

Dans les colonnes d'exhaure galvanisées et exposées à des eaux souterraines corrosives, trois différentes zones peuvent être distinguées en fonction de leurs niveaux de corrosion : (a) la partie du tuyau qui est au-dessus du niveau de l'eau et n'est pas corrodée; (b) la partie occasionnellement submergée dans l'eau qui est légèrement corrodée et (c) la partie toujours immergée dans l'eau, qui est fortement corrodée et se trouve recouverte par un biofilm rouge-brun.

Le fer galvanisé est censé résister à la corrosion. La qualité de la galvanisation est très importante, et des spécifications techniques précises ont été élaborées pour le processus de galvanisation des tuyaux. Le revêtement galvanisé classique sur les colonnes d'exhaure et les tringles est constitué d'une couche de zinc d'une épaisseur de 60-70µm.

Toutefois, les observations indiquent que dans des conditions de corrosion modérées à fortes (pH<6.5), la qualité de la galvanisation n'a pas d'impact significatif sur la résistance de la pompe PMH et de sa colonne d'exhaure à la corrosion. Langenegger (1994) a révélé que la galvanisation d'une colonne d'exhaure exposée à de l'eau souterraine ayant un pH~6 peut être détruite en trois à six mois.

Les tringles sont particulièrement vulnérables à la corrosion, notamment à la corrosion galvanique qui a lieu si les tringles sont faites de fer galvanisé et que les pistons sont faits de laiton.

Effectuer des tests pour déterminer l'origine du fer dans les eaux souterraines

Afin de déterminer la source du fer (c'est à dire savoir si le fer provient de la corrosion ou s'il est d'origine naturelle), il convient de pomper de l'eau au puits de manière continue et de mesurer le changement de la concentration de l'eau en fer dans le temps. Si la concentration de l'eau en fer diminue rapidement après avoir pompé pendant quelques minutes, la source principale de fer est la corrosion. Afin d'avoir des résultats fiables, il convient de tester les échantillons immédiatement après l'échantillonnage, ou bien de préserver les échantillons par acidification.

L'effet de la corrosion sur les autres paramètres

La corrosion des PMH impacte non seulement la teneur en fer, mais également le manganèse, le zinc, l'ammonium, le nitrite, le pH, le dioxyde de carbone libre, l'oxygène, l'alcalinité, et peut-être d'autres facteurs qui influent sur la qualité de l'eau. L'ampleur des effets dépend du niveau de corrosité et de la composition naturelle des eaux souterraines.

Les produits de la corrosion

Langenegger (1994) a révélé que lorsque les colonnes d'exhaure et les tringles sont en contact avec l'eau, ceux-ci sont généralement recouverts d'une boue rougeâtre ou brunâtre appelée biofilm. Ce produit de la corrosion est constitué de fer, de zinc, de calcium, de magnésium, de potassium, de sodium et d'aluminium ainsi que de silice et de matière organique provenant des ferrobactéries. La texture des produits de la corrosion peut aller d'une croûte très fine (quelquefois avec une texture poudreuse) à une croûte dure, avec un éventail de textures entre les deux. Une croûte molle peut être considérée comme un biofilm typique, alors que la croûte dure est une couche protectrice. Les surfaces extérieures des colonnes d'exhaure galvanisées ont tendance à être recouvertes d'un biofilm dont la texture devient poudreuse une fois asséchée. Dans les cas où le pH>6.5 et la conductivité supérieure à 300µs/cm, la partie interne de la colonne d'exhaure a une couche protectrice.

Annexe 2 Normes et spécifications techniques

Tableau A2.1 Aperçu des spécifications techniques et des conseils d'installation des PMH India Mark

Année	Editeur	Titre	Remarques
2004	RWSN/Skat	Spécifications techniques pour India Mark, Révision 1-2004	Remplacée par la Révision 2 - 2007
2004	BIS	IS 15500 (Parties 1 à 8): 2004 PMH, pièces composantes et spécifications techniques particulières	<p>Bielle – pas d' « options » claires, mais mentions des possibilités suivantes. Dans les dessins techniques (fig 4.21, fig 58), seule l'électro-galvanisation est évoquée:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acier inoxydable X04Cr19Ni 9 d'IS 6603⁹ (section 5.2.1-p 5) • Acier inoxydable 12 mm (fig 2.5, p 19)¹⁰ • Acier doux – électro-galvanisé et passivés conformément aux conditions de service No. 4 d'IS 1573 (6.1 – p 7 et <u>dessins techniques</u> -fig 4.21 – p 58) • Barre polie (5.1.2 – p 5 & fig 2.1, fig 2.2 et fig 2.3) <p>Piston –Standard & Long:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acier inoxydable X04Cr19Ni 9 d'IS 6603¹¹ (section 5.2.1; p5) • Acier inoxydable 04Cr18Ni10 d'IS 6603 (fig 3.5, p 26 et fig 3.7, p 28 et fig 3.9 – p 30)¹² • Acier inoxydable Type 304 (fig 3.13 – p 34)¹³ • Acier inoxydable (<u>dessins techniques</u> -fig 4.22 et 4.2.3 – p 58) <p>Tringle poussoir (seulement pour VLOM-65):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acier inoxydable (fig 3.8 – p29) <p>Colonne d'exhaure:</p>

⁹ Avec les propriétés mécaniques suivantes: résistance à la traction 800 MPa, *Min*; extension 15 pourcent, *Min*

¹⁰ FLP (Force Lift Pump)

¹¹ Avec les propriétés mécaniques suivantes: résistance à la traction 800 MPa, *Min*; extension 15 pourcent, *Min*

¹² Pour les PMH classiques (SDWP, Standard Deepwell pump) et les modèles force lift (FLP, Force Lift Pump); VLOM-65; VLOM-50

¹³ Pour les corps de cylindre/vérins en acier inoxydable SDWP et les modèles alternatifs FLP

Année	Editeur	Titre	Remarques
			<ul style="list-style-type: none"> • Tuyau galvanisé à chaud, vissé et soudé conformément à IS 1239 (part I) (8.1, p 8). <i>Par ailleurs cette section renvoie à la section 6.4 qui n'existe pas.</i> • Acier doux (Fig 2.1, 2.2, 2.3, 2.4) • <u>La norme ne contient aucun dessin technique concernant cette pièce</u> <p>Embout de colonnes d'exhaure</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fabriqué à partir de tubes sans soudures selon la norme IS 1239 (partie 2), ou bien façonné à partir d'une barre solide selon le type A d'IS 2062 et doit être galvanisé à chaud (8.1.2 - p 9) • Galvanisé selon la norme IS 4759 • <u>Dessins techniques</u> (fig 4.28, 4.28 et 4.30)
2007	RWSN/Skat	Spécifications techniques pour India Mark, Révision 2-2007	<p>Tringles:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Options d'acier doux ou d'acier inoxydable • Acier inoxydable recommandé lorsque les eaux souterraines ont un pH<6.5. <p>Colonne d'exhaure :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seulement en fer galvanisé
2008	RWSN/Skat	Manuel d'installation & d'entretien des PMH India Mark II ¹⁴	Aucune mention de contre-indication vis-à-vis des colonnes d'exhaure en fer galvanisé si les eaux souterraines ont un pH<6.5
2008	RWSN/Skat	Manuel d'installation & d'entretien des PMH India Mark III ¹⁵	Aucune mention de contre-indication vis-à-vis des colonnes d'exhaure en fer galvanisé si les eaux souterraines ont un pH<6.5

¹⁴ <http://www.rural-water-supply.net/en/resources/details/328>

¹⁵ <http://www.rural-water-supply.net/en/resources/details/329>

Annexe 3 Spécifications techniques pour les colonnes d'exhaure, les raccords et les bielles

Tableau A3.1 Spécifications techniques pour les colonnes d'exhaure et les manchons/embouts

Description	Dimensions	Matériaux	Normes	Remarques	Partie no.	Référence
Colonne d'exhaure - Fer galvanisé						RWSN 2007-2
Colonne d'exhaure	Ø42.4/3.25 x 3000 mm	ST 320	ISO 630 ¹⁶ (ISO 559 ¹⁷)	NB32, tuyau de fer galvanisé à chaud medium (1 ¼")	C2365	RWSN 2007-2
Manchon/embout	Ø48 x 48 mm	ST 320	ISO 630 ¹⁶ (ISO 559 ¹⁷)	Pour les tuyaux en fer galvanisé à chaud (1 ¼")	C2366	RWSN 2007-2
Colonne d'exhaure, UPVC avec des manchons UPVC filetés					Catalogue d'approvisionnement UNICEF No. S0009335	
Colonne d'exhaure	<ul style="list-style-type: none"> • 40 NB x 3 m • 50 NB x 3 m • 65 NB x 3 m; OD 75mm x 5.5mm d'épaisseur 	UPVC	[toute les tailles] IS:12818-2010 ¹⁸ IS:15500-2004 ¹⁹ IS:4985-2000 ²⁰	-	-	S0009335

¹⁶ Acier de charpente

¹⁷ Tuyaux en acier pour l'approvisionnement en eau et l'évacuation des eaux usées

¹⁸ Spécifications techniques pour les filtres et les chemisages de tuyau en chlorure de polyvinyle nonplastifié (PVC-V) pour les puits et forage (page payante)

¹⁹ Spécifications techniques pour les PMH, leurs pièces composantes et leurs outils dédiés

²⁰ Spécifications techniques pour les tuyaux en PVC non plastifié pour l'approvisionnement en eau potable (page payante)

Description	Dimensions	Matériaux	Normes	Remarques	Partie no.	Référence
Raccord	- - -	UPVC	[toutes les tailles] IS:12818-2010 ¹⁸ IS:15500-2004 ¹⁹ IS:4985-2000 ²⁰	Trois pièces en UPVC moulées par injection	-	S0009335
Colonne d'exhaure, UPVC avec un raccord fileté en acier inoxydable				Catalogue d'approvisionnement UNICEF No. S0009335		
Colonne d'exhaure	50 NB x 3 m	UPVC	EN/ISO 1452-1/2:2009 ISO 4065:1996 ISO 161-1:1996 BS-EN/ISO 11922-1:1997			S0009335
Raccord	Diamètre nominal 50mm (Rp 2")	AISI 304L	ISO 2853:1993 RWSN/SKAT Rev 2-2007.			S0009335
Colonne d'exhaure, avec un embout soudé, tout en acier inoxydable				Catalogue d'approvisionnement UNICEF No. S0009335		
Colonne d'exhaure	34mm ID, longueur de 3, 1 ou 0.5 mètre ²¹ , 38mm OD, ID 34mm, (2mm d'épaisseur)	ERW AISI 304		<i>"Les pièces détachées... pour INDIA MARK II & III selon IS:15500-2004"</i>		S0009335

²¹ Longueur +0/-25mm

Description	Dimensions	Matériaux	Normes	Remarques	Partie no.	Référence
Colonne d'exhaure	36mm ID, OD 42mm, (3mm d'épaisseur) et 3 mètres de long.	AISI 304		<i>"La qualité de l'acier inoxydable doit être conforme à la dernière norme indienne (CrNi18/10) en date"</i>		S0009335
Embout	[pour les tuyaux de 34 et 36mm et au delà] embouts femelles filetés sans soudure soudés d'un côté ²² et embouts filetés mâles de l'autre ²³ .	AISI 304				S0009335
Colonne d'exhaure, en acier inoxydable fourni en kit avec une bielle en acier inoxydable				Catalogue d'approvisionnement UNICEF No. S0005838		
Colonne d'exhaure	32 mm (1"1/4)		ISO 2037, BIS:6603	Gr4 CrNi 18 10		
Filetage de la colonne d'exhaure		AISI 304	ISO 7	Les deux bouts sont filetés mâles		
Raccord	32 mm ND		ISO 2853	Fileté femelle		
Colonne d'exhaure en UPVC avec des raccords en acier inoxydable ND 65 mm				Catalogue d'approvisionnement UNICEF No. S0009155		

²² [de la colonne d'exhaure]

²³ Avec une protection en plastique fileté

Description	Dimensions	Matériaux	Normes	Remarques	Partie no.	Référence
Colonne d'exhaure	OD 80mm; -ID pas moins que 65mm; - Epaisseur des parois ne doit pas être inférieure à 6mm; Longueur: 2.9 m			<i>Le diamètre nominal est en conformité avec les spécifications techniques RWSN/SKAT pour les PMH India Mark III, Révision 2-2007. Le filetage doit donc être en conformité avec le support de la colonne d'exhaure selon les modèles de PMH India Mark III/VLOM65.</i>	-	S0009155
Raccord²⁴	Le diamètre nominal 65 mm (Rp 2"1/2)	ANSI 304L	ISO 2853:1993		-	S0009155

²⁴ Les details du joint torique ne sont pas inclus ici.

Tableau A3.2 Spécifications techniques pour les tringles et les bielles

Description	Dimensions (mm)	Matériaux	Normes	Remarques	Partie no.	Référence
Tringle – acier doux						
Tringle	Ø12 x 2990	E235	ISO 630	usiné (polie)	C2372	RWSN 2007-2
Bielle						IS15500 (Part 1 to 8):2004
Tringle – acier inoxydable						
Tringle	Ø12 x 2990	Acier inoxydable	ISO 15510 ²⁵	usiné, X5CrNi 18-9, polie	C2382	RWSN 2007-2
Tringle						IS15500 (Part 1 to 8):2004
Bielle	10.8 mm; 3m de longueur ²⁶	AISI 304	BIS:6603	Gr4 CrNi 18 10		
Filetage de la bielle	M12			Filetage mâle d'un côté		Catalogue UNICEF S0005838
Raccord	M12	SS	Option B SKAT-RWSN Afridev Rev. 5-2007	Raccord femelle fileté soudé de l'autre côté (de la tringle)		

²⁵ Aciers inoxydables - composition chimique

²⁶ (+10/-0mm)

Annexe 4 Exemple de quatre « fiches produits » India II et III du catalogue d'approvisionnement UNICEF

Code	Nom	Spécifications techniques référencées	Description
S0009301	PMH VLOM-65, MKIII-65, Variante 1 Tele	Bureau de Normalisation indien (BIS): 15500:2004 Spécifications internationales de SKAT Rev. 2 - 2007	<p>PRÉVUE POUR: 65 ND colonne d'exhaure en UPVC avec des raccords en acier inoxydable, non inclus.</p> <p>ET POUR: des bielles en acier inoxydable avec des raccords filetés (de même longueur) non inclus.</p> <p>Les PMH VLOM.65/India Mark III comprennent essentiellement le même équipement de surface que celui de la norme IS 15500-2004, complet, mais est adapté pour la partie enterrée/immergée avec des colonnes d'exhaure de 65 mm ND</p> <p>Les colonnes d'exhaure doivent être commandées séparément (Catalogue UNICEF numéro S0009155), car ces colonnes d'exhaure en UPVC sont conçues spécialement avec des raccords intégrés en acier inoxydable, ND 65 mm, 3 m de long. Les bielles sont en acier inoxydable, d'un diamètre de 10.8 mm, 3 m de long, avec des embouts, raccords et centreurs filetés M12.</p>
S0009335	PMH SDWP, EDWP, VLOM, MKII&III, - colonnes d'exhaure	IS:12818-2010 IS:15500-2004 IS:4985-2000	<p>Description générale: une sélection de différents types et tailles de colonnes d'exhaure résistantes à la corrosion pour les modèles de pompes INDIA MKII & MK III /SDWP, EDWP & VLOM 50+65 (tuyaux en PVC et/ou en acier inoxydable)</p> <p>COLONNE D'EXHAURE, UPVC AEC DES RACCORDS FILETÉS en UPVC</p> <p>1/- 40mm, longueur de 3 mètres. Colonne d'exhaure en UPVC 40mm NB, 3 mètres de longueur, avec des manchons filetés en trois pièces d'UPVC moulées par injection, selon la norme indienne du BIS IS:12818-2010, et selon IS:15500-2004.</p> <p>2/- 50 mm, longueur de 3 mètres. Colonne d'exhaure en UPVC 50mm NB, pour les PMH India Mark III, 3 mètres de longueur, avec des manchons filetés en trois pièces d'UPVC moulées par injection, selon la norme indienne du BIS IS:12818-2010, et selon IS:15500-2004.</p> <p>3/- 65mm, longueur de 3 mètres, Colonne d'exhaure en UPVC 65mm NB, pour les PMH India Mark III, 3 mètres de longueur, OD 75mm x 5.5mm d'épaisseur, avec des raccords filetés en</p>

Code	Nom	Spécifications techniques référencées	Description
			trois pièces d'UPVC moulées par injection avec un joint torique, selon la norme indienne du BIS IS:12818-2010, selon IS:4985 (pour les dimensions, 75x10kg) et selon IS:1550 0-2004.
S0009335	PMH SDWP, EDWP, VL0M, MKII&III, - colonnes d'exhaure	<p>Fabrication:</p> <ul style="list-style-type: none"> EN/ISO 1452-1/2:2009 <p>Dimension des tuyaux:</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO 4065:1996 <p>Tolérances, épaisseur des parois, ovalité, pression nominale (PN), diamètre nominal externe (OD)</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO 161-1:1996 and BS-EN/ISO 11922-1:1 997 <p>Dimensions:</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO 2853:1993 <p>Diamètre nominal en conformité avec:</p> <ul style="list-style-type: none"> Les spécifications techniques de RWSN/SKAT pour les PMH India Mark III, Révision 2-2007. 	<p>COLONNE D'EXHAURE, UPVC AVEC DES RACCORDS FILETÉS EN ACIER INOXYDABLE</p> <p>4/- 50mm, longueur de 3 mètres: Colonne d'exhaure en UPVC 50mm NB, fabriquées à partir de résine de chlorure de polyvinyle 100% vierge, de couleur bleu ou gris foncé, conçue pour une durée de vie d'au moins 50 ans à 20 degrés Celsius, en conformité avec la norme EN/ISO 1452-1/2:2009, certifiée non toxique, adaptée pour l'eau potable, et libre de CaCO3 et/ou d'autres additifs susceptible de compromettre sa solidité.</p> <p>Les dimensions des tuyaux sont conformes à la norme ISO 4065:1996, tolérances, épaisseur des parois, ovalité, pression nominale (PN), diamètre nominal externe (OD) etc. conformes aux normes ISO 161-1:1996 et BS-EN/ISO 11922-1:1 997, 3 mètres de longueur avec des raccords filetés en trois pièces d'acier inoxydable:</p> <p>Chaque tuyau d'UPVC est équipé d'un système de raccords en acier inoxydable sans soudure totalement intégré, composé soit de deux courtes biellettes filetées mâles en acier inoxydable, une à chaque bout, et d'un raccord fileté femelle ; soit par une courte bielle filetée mâle en acier inoxydable d'un côté et d'une bielle filetée femelle en acier inoxydable de l'autre côté, toutes deux complètement intégrées au tuyau en UPVC.</p> <p>Ce système de raccordement des tuyaux doit être dimensionné selon des diamètres nominaux de 50mm (Rp 2") conformément à la norme ISO 2853:1993, tous faits d'acier inoxydable AISI 304L sans soudures (1.4307). Le diamètre nominal est établi selon les spécifications techniques du RWSN/SKAT pour les PMH India Mark III, Révision 2-2007.</p> <p>Le filetage doit donc être compatible avec le support de la colonne d'exhaure selon ces spécifications pour les PMH India Mark III.</p>
S0009335	PMH SDWP, EDWP, VL0M, MKII&III, - Colonnes d'exhaure	<p>ERW AISI 304</p> <p>D'après les normes indiennes appropriées (dernière version (CrNi18/10))</p>	<p>COLONNE D'EXHAURE, AVEC DES EMBOUTS SOUDÉS, TOUT EN ACIER INOXYDABLE</p> <p>6/- 34mm ID, longueur de 3 mètres. Colonne d'exhaure en acier inoxydable; ERW AISI 304, 38m m OD, ID 34mm, (2mm d'épaisseur) sur 3 mètres. Longueur +0/-25mm, avec des</p>

Code	Nom	Spécifications techniques référencées	Description
			<p>embouts femelles filetés sans soudures soudés d'un côté et des embouts filetés mâles de l'autre côté avec une protection plastique.</p> <p>7/ (comme ci-dessus, mais avec une longueur d'1 mètre).</p> <p>8/ (comme ci-dessus, mais avec une longueur d'1 mètre).</p> <p>9/- 36mm ID, longueur de 3 mètres. Colonne d'exhaure en acier inoxydable ERW – adaptées pour être utilisée comme colonne d'exhaure dans des PMH, OD 42mm, ID 36mm (3mm d'épaisseur) et 3 mètres de longueur, avec des embouts femelles filetés sans soudures soudés d'un côté et des embouts filetés mâles de l'autre côté avec une protection plastique. La qualité de l'acier inoxydable devrait être de type AISI304 en conformité avec les normes indiennes (dernière version (CrNi18/10))</p>
S0009155	PMH VL0M, Colonne d'exhaure, UPVC-acier inoxydable, 65ND, 3m	<p>Fabriquées en conformité avec</p> <ul style="list-style-type: none"> • EN/ISO 1452-1/2:2009 <p>Les dimensions des tuyaux sont conformes à:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ISO 4065:1996 <p>Tolérances, épaisseur des parois, ovalité, pression nominale (PN), diamètre nominal externe (OD) etc. tel que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ISO 161-1:1996 et BS-EN/ISO 11922-1:1997 	<p>Description générale: Colonne d'exhaure en UPVC avec des raccords en acier inoxydable ND 65 mm, 3 m de longueur, fourni en kit avec une bielle en acier inoxydable pour les PMH India Mark III-65/VL0M 65.</p> <p>Colonne d'exhaure en UPVC:</p> <p>La colonne d'exhaure en UPVC doit être fabriquée à partir de résine de chlorure de polyvinyle 100% vierge, de couleur bleu ou gris foncé, conçue pour une durée de vie d'au moins 50 ans à 20 degrés Celsius, et suivant les dimensions suivantes: -OD 80mm; -ID pas inférieure à 65mm; -épaisseur des parois pas inférieure à 6mm; pression nominale: 16 bar; longueur: 2.9 mètres</p> <p>Fabriquée en conformité avec la norme EN/ISO 1452-1/2:2009, certifiée non toxique, adaptée pour l'eau potable, et libre de CaCO3 et/ou d'autres additifs susceptible de compromettre sa solidité.</p> <p>Les dimensions des tuyaux doivent être conformes à la norme ISO 4065:1996, tolérances, épaisseur des parois, ovalité, pression nominale (PN), diamètre nominal externe (OD) etc. selon les normes ISO 161-1:1996 et BS-EN/ISO 11922-1:1997, avec une déviation de l'épaisseur des parois qui ne doit pas être inférieure à 6 mm.</p>

Code	Nom	Spécifications techniques référencées	Description
S0009155	PMH VL0M, Colonnes d'exhaure, UPVC-acier inoxydable, 65ND, 3m	Dimensions: <ul style="list-style-type: none"> • ISO 2853:1993 Matériaux <ul style="list-style-type: none"> • AISI 304L (1.4307) Matériaux du joint torique <ul style="list-style-type: none"> • ISO 4633:2002 and BS-EN-68 1 	<p>RACCORDS EN ACIER INOXYDABLE:</p> <p>Chaque tuyau d'UPVC est équipé d'un système de raccords en acier inoxydable sans soudure totalement intégré, composé soit de deux courtes bielles filetées mâles en acier inoxydable, une à chaque bout, et d'un raccord fileté femelle ; soit par une courte bielle filetée mâle en acier inoxydable d'un côté et d'une bielle filetée femelle en acier inoxydable de l'autre côté, toutes deux complètement intégrées au tuyau en UPVC.</p> <p>Ce système de raccordement des tuyaux doit être dimensionné avec un diamètre nominal de 65 mm (Rp 2"1/2) selon la norme ISO 2853:1993, tous faits d'acier inoxydable AISI 304L sans soudure (1.4307). Le diamètre nominal est établi en conformité avec les spécifications techniques du RWSN/SKAT pour les PMH India Mark III, Révision 2-2007.</p> <p>Le filetage doit donc être compatible avec le support de la colonne d'exhaure selon ces spécifications pour les PMH India Mark III /VL0M65.</p> <p>Afin de garantir son étanchéité complète, chaque joint doit être sécurisé dans le corps de cylindre/vérin avec un anneau de caoutchouc de 5 mm (le joint torique) fait de caoutchouc EPDM ou d'un matériau équivalent approprié conforme aux normes ISO 4633:2002 et BS-EN-68 1, de dureté shore de 60+/-5 IRHD ou mieux.</p> <p>L'ensemble de la colonne d'exhaure doit être certifié compatible avec des usages d'approvisionnement en eau potable, c-à-d libre de tout matériau ni pièce toxique comme le plomb par exemple (au moins conforme aux dernières consignes de l'OMC, du NSF, des normes EN, WRAS, ou des normes nationales équivalentes).</p>
S0005838	PMH SDWP, INDIA MKII, Colonnes d'exhaure en acier inoxydable, 32ND		<p>Description générale:</p> <p>Colonne d'exhaure, acier inoxydable, diamètre nominal 32mm, 3 mètres de long, pour les PMH SDWP/EDWP India Mark II, fournies en kit avec une bielle en acier inoxydable.</p> <p>Spécifications techniques:</p> <p>Colonne d'exhaure, faite d'acier inoxydable de type AISI 304 en conformité avec les normes ISO 2037, BIS:6603 Gr4 CrNi 18 10, ou des normes équivalentes. Diamètres nominal 32mm (1"1/4), les deux embouts filetés mâles selon la norme ISO 7, l'un équipé d'un raccord</p>

Code	Nom	Spécifications techniques référencées	Description
			<p>femelle fileté selon la norme ISO 2853, l'autre protégé avec un cache de protection HDPE couvrant toute la longueur du filetage.</p> <p>Longueur de 3 mètres. Diamètre nominal: 32mm.</p> <p>Chaque colonne d'exhaure est fournie avec: une bielle en acier inoxydable de type AISI 304 (BIS:6603 Gr4 CrNi 18 10), avec en embout fileté mâle M12 d'un côté, et un raccord femelle M12 en acier inoxydable soudé de l'autre côté (Option B SKAT-RWSN Afridev Rév. 5-2007).</p> <p>Diamètre des tringles en acier inoxydable: 10.8mm, longueur de 3 mètres (+10/-0 mm).</p>

Annexe 5 Notes complémentaires sur les normes internationales

“Le système de **types d’acier SAE** est un système classique de numérotation des alliages pour les types d’acier tenu par SAE International. Dans les années 1930 et 1940 l’Institut Américain du Fer et de l’Acier (AISI) et SAE ont mené des efforts parallèles pour créer un système de numérotation des aciers harmonisé. Ces efforts similaires se recoupaient, et depuis plusieurs décennies maintenant ces deux systèmes sont rassemblés dans une nomenclature conjointe appelée les **types d’aciers AISI/SAE**. En 1995 AISI a confié la gestion du système à SAE car AISI ne rédigeait aucune des spécifications techniques” (Wikipedia, 2018)

L’encart A5.1 fournit un aperçu des différents types d’aciers inoxydables

Encart A5.1 Les types d’aciers inoxydables

[Séries 200 - Les alliages austénitiques chrome-nickel-manganèse]

- Type 202 - Acier inoxydable austénitique tout-usage

[Séries 300 - Les alliages austénitiques chrome-nickel]

- Type 304 - Le type le plus commun; l’acier inoxydable classique 18/8 (18% chrome, 8% nickel). En dehors des Etats Unis il est en général appelé "acier inoxydable A2", selon la norme ISO 3506.
- Type 304L - Similaire au type 304 mais avec une teneur en carbone moindre afin d’améliorer sa soudabilité. Il est légèrement plus faible que le type 304.
- Type 316 – Le second type le plus répandu (après le type 304); pour les usages alimentaires et chirurgicaux; l’addition de molybdène à l’alliage permet d’empêcher certaines formes de corrosion. Ce type est également appelé acier inoxydable de qualité marine car il résiste mieux que le type 304 à la corrosion par les chlorures.

Conditions générales

Types d’aciers de charpente (ISO 630)

Type E 235 Propriétés chimiques des pièces test:

C=0.22%max; P=0.055%max; S=0.055%max; Mn=1.5%max
Résistance à la traction: 340-470 N/mm²

Tuyaux d’acier conforme à ISO 559, “Tuyaux d’acier pour l’approvisionnement en eau et l’évacuation des eaux usées” (ISO 9339-1)

Type ST 320 Propriétés chimiques des pièces test:

C=0.16%max; P=0.040%max; S=0.040%max; Mn=0.7%max
Résistance à la traction: 320-460N/mm²

Les pièces composantes en **acier inoxydable** devraient être faites en X5CrNi 18-9

Les propriétés chimiques de X5CrNi 18-9 selon la norme ISO 15510 sont:

C=0.07%max; Si=1.0%max; Mn=2.0%max; P=0.045%max; S=0.015%max;
N=0.11%max; Cr= 16.0-18.0%; Mo=2.0-3.0%; Ni= 10.0-13.0%
Résistance à la traction: 510-710N/mm²

Le taux de nickel dans l’alliage de l’acier inoxydable est déterminant pour empêcher les processus de corrosion.

Le taux de carbone est important aussi, comme résumé ci-après:

- *“Le taux de carbone 304L (UNS 30403) est limité à un maximum de 0.03% pour éviter la sensibilisation durant les soudures. La sensibilisation est la formation de carbures de chrome sur les limites de grain lorsque qu’un acier inoxydable est exposé à des températures entre ~900 °F (480 °C) et 1,500 °F (820 °C). Car la formation de carbures de chrome **génère une moindre résistance à la corrosion** le long des limites de grain rendant l’acier inoxydable vulnérable à des phénomènes de corrosion dans des environnements où 304 devrait normalement y résister. Cette attaque de corrosion le long des limites de grain est appelée corrosion intergranulaire.*
- *Le taux de carbone de 304 (UNS 30400) est limité à un maximum de 0.08%. Ainsi le type 304 ne peut pas être utilisé pour des applications qui nécessitent des soudures telles que des réservoirs ou des tuyaux contenant des solutions corrosives. Il faudra dans ce cas utiliser le type 304L. Et l’absence d’un taux minimum de carbone n’est pas idéal pour des applications à haute température qui nécessitent une résistance optimale, conduisant ainsi au choix du type 304H. Donc l’usage du type 304 est principalement restreint aux barres qui seront insérées dans des pièces sans soudures ou bien dans des plaques fines façonnées sans soudures pour des produits tels que les éviers de cuisine ou le matériel de cuisine.*
- *Le taux de carbone influence fortement la résistance à la température ambiante, donc les capacités de résistance minimales spécifiées pour le type 304L sont de 5 kilopounds par pouce carré (34 MPa), inférieur à celles de 304. Toutefois, le taux d’azote a lui aussi une forte influence sur la résistance à la température ambiante et l’ajout d’une quantité infime d’azote confère au type 304L une résistance à la traction similaire à celle du type 304. De fait, presque tout les types 304L sont fabriqués avec une double certification 304/304L, c’est-à-dire qu’ils présentent à la fois le même taux minimum de carbone que le 304L et la même résistance à la traction minimum que le type 304” Wikipedia (2019)*

Annexe 6 Résultats détaillés des tests

Le tableau 1 (page 18) résume les provenances des 13 échantillons.

Les tableaux A6.1 à A6.4 indiquent les résultats des tests.

Tableau A6.1 Résultats pour les tubes de conduite n° 1 à 3

Echantillon → Elément ↓		Echantillo n 1	Echantillo n 2	Echantillon 3	Valeur attendue X04Cr19Ni9 ¹	Valeur attendue X04Cr18Ni10 ²
Cobalt	Co	0.25	0.04	0.09	Pas de données	Pas de données
Chrome	Cr	17.88	14.11	12.30	17.50-20.00	17.00-20.00
Cuivre	Cu	0.02	0.44	0.68	≤ 0.50	≤ 0.50
Fer	Fe	Residue	Residue	Residue	Pas de données	Pas de données
Manganèse	Mn	0.78	10.00	10.49	≤ 2.00	≤ 2.00
Molybdène	Mo	<0.01	0.03	0.01	≤ 0.70	≤ 0.70
Nickel	Ni	8.31	0.47	1.00	8.00-10.50	8.00-12.00
Phosphore	P	0.038	0.052	0.034	≤ 0.045	≤ 0.045
Silicium	Si	0.37	0.37	0.36	≤ 1.00	≤ 1.00
Titane	Ti	<0.01	<0.01	<0.01	≤ 0.10	≤ 0.10
Vanadium	V	0.07	0.03	0.07	Pas de données	Pas de données
Carbone	C	0.08	0.11	0.20	≤ 0.08	≤ 0.08
Souffre	S	<0.01	0.007	0.009	≤ 0.030	≤ 0.030
Niobium	Nb	<0.1	<0.1	<0.1	≤ 0.200	≤ 0.200

≤ = inférieur / égal

< = inférieur au seuil de détection du procédé

* Procédé semi-quantitatif par spectrométrie de fluorescence des rayons X à analyse dispersive en longueur d'onde (WD-XRF, scan), contrôle d'absence de niobium

¹ = Valeurs attendues selon les données de La Clé des Aciers, version en ligne 2019

² = Valeurs attendues selon les données de La Clé des Aciers, version en ligne 2019

Hors spécifications des matériaux X04Cr19Ni9 et X04Cr18Ni10

Tableau A6.2 Résultats pour les tiges de pompe n° 4 à 6

Echantillon → Élément ↓		Echantillon 4	Echantillon 5	Echantillon 6	Valeur attendue X04Cr19Ni9 ¹	Valeur attendue X04Cr18Ni10 ²
Cobalt	Co	0.14	0.03	0.04	Pas de données	Pas de données
Chrome	Cr	18.36	13.61	12.42	17.50-20.00	17.00-20.00
Cuivre	Cu	0.49	0.82	0.55	≤ 0.50	≤ 0.50
Fer	Fe	Residue	Residue	Residue	Pas de données	Pas de données
Manganèse	Mn	1.65	9.58	9.79	≤ 2.00	≤ 2.00
Molybdène	Mo	0.38	<0.01	0.02	≤ 0.70	≤ 0.70
Nickel	Ni	8.36	0.21	0.28	8.00-10.50	8.00-12.00
Phosphore	P	0.0483	0.083	0.067	≤ 0.045	≤ 0.045
Silicium	Si	0.33	0.37	0.54	≤ 1.00	≤ 1.00
Titane	Ti	<0.01	<0.01	<0.01	≤ 0.10	≤ 0.10
Vanadium	V	0.05	0.03	0.03	Pas de données	Pas de données
Carbone	C	0.03	0.09	0.10	≤ 0.08	≤ 0.08
Souffre	S	0.021	0.010	0.011	≤ 0.030	≤ 0.030
Niobium	Nb	<0.1	<0.1	<0.1	≤ 0.200	≤ 0.200

≤ = inférieur / égal

< = inférieur au seuil de détection du procédé

* Procédé semi-quantitatif par spectrométrie de fluorescence des rayons X à analyse dispersive en longueur d'onde (WD-XRF, scan), contrôle d'absence de niobium

¹ = Valeurs attendues selon les données de La Clé des Aciers, version en ligne 2019

² = Valeurs attendues selon les données de La Clé des Aciers, version en ligne 2019

³ = La marge d'erreur de la méthode chevauche le domaine de tolérance.

Hors spécifications des matériaux X04Cr19Ni9 et X04Cr18Ni10

Tableau A6.3 Résultats pour les tubes de conduite n° 7, 9 et 10

Echantillon→ Elément ↓	Echantillon 7	Echantillon 9	Echantillon 10	Valeur attendue¹ SS 304 / 304L Matériau n° 1.4301 Désignation X5CrNi18-10
Cobalt Co	0.06	0.07	0.11	Pas de données
Chrome Cr	11.80	12.54	12.59	17.50-19.50
Cuivre Cu	0.64	0.67	0.66	Pas de données
Fer Fe	Residual	Residual	Residual	Pas de données
Manganèse Mn	10.64	10.12	10.08	≤ 2.00
Molybdène Mo	0.03	0.06	0.07	Pas de données
Nickel Ni	0.86	0.92	0.92	8.00-10.50
Phosphore P	0.033	0.033	0.032	≤ 0.045
Silicium Si	0.37	0.38	0.38	≤ 1.00
Titane Ti	<0.01	<0.01	<0.01	Pas de données
Vanadium V	0.06	0.06	0.06	Pas de données
Carbone C	0.23	0.22	0.25	≤ 0.07
Souffre S	0.014	0.011	0.011	≤ 0.015
Azote N	0.107	0.110	0.106	≤ 0.100

≤ = inférieur / égal

< = inférieur au seuil de détection du procédé

¹ = Valeurs attendues selon les données de La Clé des Aciers, version en ligne 2019

Hors des spécifications des matériaux SS 304 / 304L, X5CrNi18-10

Tableau A6.4 Résultats pour les tiges de pompe n° 8 et les manchons n° 11, 12 et 13

Echantillon→ Élément ↓	Echantillon 8	Echantillon 11	Echantillon 12	Echantillon 13	Valeur attendue¹ SS 304 / 304L Matériau n° 1.4301 Désignation X5CrNi18-10	Valeur attendue¹ STS303Cu (République de Corée)
Cobalt Co	0.17	0.20	0.15	0.13	Pas de données	Pas de données
Chrome Cr	18.13	18.03	17.91	18.14	17.50-19.50	17.00-19.00
Cuivre Cu	1.82	0.68	0.31	0.03	Pas de données	1.50-3.50
Fer Fe	Residual	Residual	Residual	Residual	Pas de données	Pas de données.
Manganèse Mn	1.81	1.16	1.07	1.19	≤ 2.00	≤ 3.00
Molybdène Mo	0.33	0.08	0.23	<0.01	Pas de données	≤ 0.60
Nickel Ni	8.51	8.33	8.28	8.42	8.00-10.50	8.00-10.00
Phosphore P	0.032	0.034	0.037	0.038	≤ 0.045	≤ 0.200
Silicium Si	0.33	0.39	0.39	0.41	≤ 1.00	≤ 1.00
Titane Ti	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	Pas de données	Pas de données
Vanadium V	0.07	0.10	0.05	0.05	Pas de données	Pas de données.
Carbone C	0.02	0.05	0.05	0.05	≤ 0.07	≤ 0.15
Souffre S	0.004	<0.001	<0.001	0.003	≤ 0.030	≤ 0.150
Azote N	0.060	0.064	0.067	0.049	≤ 0.100	Pas de données

≤ = inférieur / égal

< = inférieur au seuil de détection du procédé

¹ = Valeurs attendues selon les données de La Clé des Aciers, version en ligne 2019