

FIABILISATION DE LA LUBRIFICATION DES CHAINES GALLE DES VANNES DES BARRAGES DU RHIN

More reliable lubrication of Galle chains

Christophe ROLAND, Pascal RATABOUIL

EDF Hydro Est, Avenue Robert SCHUMAN, 68100 MULHOUSE, FRANCE

christophe.roland@edf.fr ; pascal.ratabouil@edf.fr

MOTS CLEFS

Chaînes Galle, lubrification, graissage

KEY WORDS

Galle chains, lubrication, greasing

RÉSUMÉ

Des dysfonctionnements récents survenus sur les chaînes Galle des barrages du Rhin ont conduit EDF-Hydro Est à lancer une étude de fiabilisation de la lubrification et du graissage des chaînes. Ce document présente la méthode employée pour établir l'état des lieux, le plan d'actions associé et les orientations prises en matière de maintenance des chaînes.

ABSTRACT

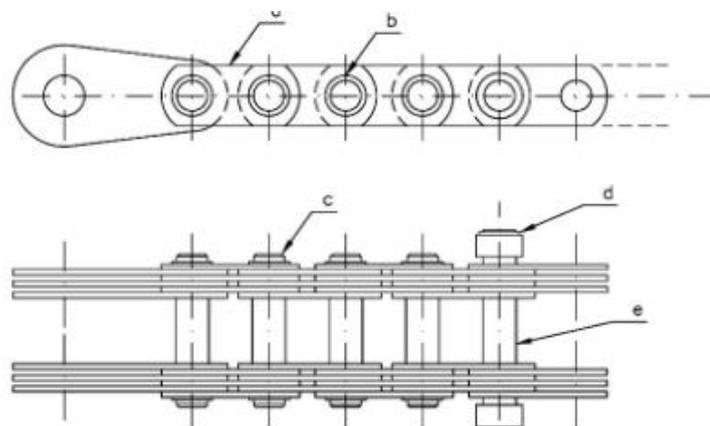
Recent poor running occurred on Galle chains of the Rhine dams led EDF-Hydro Est to launch a study to improve the reliability of their lubrication and greasing. This document presents the method used to draw up the inventory, the associated action plan and the maintenance guidelines.

1. INTRODUCTION

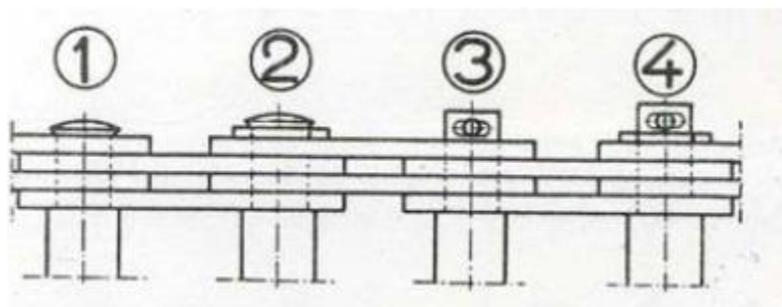
Contrairement à d'autres industries, les chaînes utilisées pour la manœuvre des vannes de barrage (et des portes d'écluses) travaillent dans un environnement le plus souvent exigeant et sont bien souvent difficiles d'accès pour en assurer la maintenance ainsi que le contrôle. Elles doivent néanmoins être en mesure de réaliser leur fonction à tout moment et ce pendant de très nombreuses années (généralement plusieurs décennies), quelles que soient leurs conditions d'exploitation. Ces éléments de transmission et leur fiabilité revêt donc une importance de tout premier ordre.

Des dysfonctionnements survenus sur les chaînes de manœuvre de certaines vannes de barrages ont conduit EDF-Hydro Est à se réinterroger sur l'état de ses chaînes Galle, sur les méthodes de contrôle et de lubrification, sur les produits à employer et sur les évolutions à donner au Plan de Maintenance Locale (PML) de ces éléments.

Terminologie :



Chaîne Galle type : (a) maillon, (b) arrêt d'axe, (c) axe, (d) douille de roulement, (e) axe long
Source Hydraulic Gates (Erbist)



Les solutions classiques d'arrêt d'axes

- 1 - Les axes rivés directement sur les plaques d'extrémités,
- 2 - Les axes rivés sur des rondelles intermédiaires,
- 3 - Les axes goupillés directement sur les plaques d'extrémités,
- 4 - Les axes goupillés sur des rondelles d'extrémités,
- 5 - Arrêt par circlips (non représenté).

2. DESCRIPTION DES OPERATIONS DE MAINTENANCE DES CHAINES A EDF-HYDRO

Ce paragraphe concerne l'approvisionnement, la maintenance et le suivi des chaînes Galle, ainsi que le choix des produits de graissage hydromécanique.

2.1. Rôle et les modalités de la lubrification des chaînes des vannes.

Pour une chaîne en service (par opposition à une chaîne « stockée en magasin » en attente de mise en exploitation), la lubrification d'une chaîne d'une vanne de barrage est faite par mise en œuvre de deux opérations distinctes et complémentaires :

- Un huilage,
- et/ou un graissage.

Les deux opérations ont pour objectifs de lubrifier tous les mouvements internes (maillons/axes, axes douilles suivant cas) et externes à la chaîne (axes/noix-pignons des treuils d'entraînement) et de protéger cette lubrification ainsi que les parties métalliques et les articulations de la chaîne des agresseurs externes (eau et corrosion, poussières).

Par abus de langage l'ensemble de ces opérations est parfois regroupé sous le terme unique de graissage des chaînes Galle. Le terme lubrification des chaînes Galle est également utilisé ; il englobe les deux opérations. De même, il est fait mention ici des chaînes Galle, mais l'article concerne également des chaînes dérivées de cette technologie historique.

La première opération est généralement réalisée suite à un nettoyage soigneux préalable, et est la plus difficile à faire « à cœur » notamment lorsqu'elle est réalisée sur site, chaîne en place. Lorsque la chaîne n'est pas utilisée, elle doit alors être mise « sous cocon » après cette phase (cas d'une mise en magasin – stockage – d'une chaîne neuve ou réhabilitée par exemple). La seconde opération, le graissage, est généralement réalisée au moment de la mise en service de la chaîne et est systématique lors des opérations d'entretien et de maintenance. Le produit de protection utilisé a généralement une viscosité et une adhésivité bien supérieures à celles du lubrifiant. Les produits utilisés pour les deux opérations, l'huilage et le graissage, doivent être bien évidemment parfaitement compatibles.

Ces opérations permettent la réalisation des fonctions suivantes :

- Lubrification des articulations axes / plaques, réalisées par contact direct ou par l'intermédiaire de douilles. Cette opération vise à la réduction du coefficient de frottement pour améliorer le glissement de deux pièces en contact, de manière à éviter tout phénomène de grippage et de point(s) dur(s) dont la matérialisation ultime sont les phénomènes de « maillons raidis » pouvant conduire à des blocages de vannes. L'autre objectif de cette opération de lubrification est bien évidemment d'éviter les usures prématurées de ces liaisons mécaniques.
- Lubrification du contact axe / denture d'entraînement afin d'assurer un bon engrènement des maillons sur les pignons (moteurs, renvoi, mouflage), de limiter les efforts parasites de frottement (dans certains cas des douilles en milieu d'axe sont présentes pour passer d'un frottement par glissement à un frottement de rotation), et de limiter les usures des axes et dentures qui forment un « couple ».
Cette opération est réalisée par huilage ou graissage par pulvérisation du produit sous pression suivant les cas.
- Protection du film d'huile (lubrifiant) vu aux points précédents par « mise sous cocon » de celui-ci,
- Protection anti-corrosion des divers éléments en acier constituant la chaîne.

Dans tous les cas, l'opération de maintenance d'une chaîne, sa périodicité et ses modalités sont adaptées aux conditions d'exploitation. Outre le nombre de manœuvres, on peut citer l'environnement : exposition aux écoulements, intempéries, exposition aux UV, zones de marnage. On peut également faire référence aux agresseurs physiques ou chimiques éventuels, à la nature des chaînes (on pense ici au cas des chaînes dites « sans entretien » par opposition aux chaînes « classiques » ou présentant des dispositions constructives limitant les interventions de maintenance), et aux produits mis en œuvre. Lors de l'opération, il est donc nécessaire d'être vigilant aux modes opératoires (examen de la position des graisseurs/opérateurs), à la nature des produits et conditions de mise en œuvre associée afin que cette opération de *graissage* puisse répondre aux fonctions précitées.

A EDF Hydro le choix des produits de *graissage* est basé sur des recommandations techniques internes. Suivant la ou les fonction(s) demandée(s) aux produits mis en œuvre, les propriétés recherchées sont les suivantes :

- Résistance aux pressions élevées,
- Résistance à l'eau,
- Résistance à la corrosion,
- Capacité d'adhérence,
- Capacité de mouillage,
- Résistance à la température,
- Caractère détergent,
- Compatibilité chimique,
- Résistance à l'eau,
- Capacité d'adhérence,
- Résistance à la corrosion,
- Résistance aux UV.

En règle générale et dans les grands principes (hors chaînes « sans entretien ») voilà ce qui est recommandé à EDF Hydro :

- Une lubrification seule sans protection pour les chaînes qui fonctionnent fréquemment, avec une nécessité d'adapter la périodicité de maintenance en répétant l'opération de lubrification. La périodicité est précisée dans le PML¹,
- Une utilisation d'un lubrifiant et d'un produit de graissage sur des chaînes qui sont peu manœuvrées ou qui sont soumises à du délavage. La périodicité de renouvellement de la protection est adaptée sur chaque site en fonction des sollicitations, de la référence du produit de protection utilisé et de la constatation de l'état des chaînes. La périodicité est précisée dans le PML,
- Sur les chaînes des portes d'écluses qui manœuvrent beaucoup plus fréquemment que les vannes de barrage (4000 à 5000 cycles par an), l'huile est pulvérisée automatiquement au niveau de la noix Galle lors de la descente après qu'un soufflage ait été réalisé lors de la montée afin de retirer les petits débris « récoltés » lors de la manœuvre (brindilles, végétaux...) et retirer l'excédent d'eau. Le système de lubrification se fait donc en continu (ou de manière cyclique).

2.2. Nettoyage des chaînes

L'opération de nettoyage des chaînes est réalisée périodiquement suivant le PML du site dans le but :

- De renouveler ou remplacer le produit de graissage,
- De réaliser les différents contrôles,
- De réaliser des actions correctives suites aux contrôles réalisés (dé-grippage d'un maillon raidi par exemple, remplacement de tronçons de chaîne).

¹ PML : Plan de Maintenance Local

Cette opération peut être réalisée sur site sans démontage de la chaîne ou dans les ateliers d'un prestataire après dépose et transport de la chaîne.

Différentes techniques de nettoyage sont mises en œuvre :

- Nettoyage manuel,
- Nettoyage à eau sous pression (non recommandé chaîne en place – voir ci-après),
- Décapage chimique. Le décapage chimique implique un démontage de la chaîne et un transport dans les ateliers d'un prestataire spécialisé dans ce type d'opération (respect environnemental). Sur les chaînes à très hautes caractéristiques mécaniques, il est nécessaire de faire attention aux risques de fragilisation par hydrogène en cas d'utilisation de bains d'acide.
- Nettoyage par cryogénie. Le nettoyage par cryogénie est réalisé par projection sous flux d'air comprimé de glace carbonique sous la forme de pellet (particules de diamètre 3 mm et de longueur 5 à 10 mm).

Les recommandations suivantes (hors contraintes spécifiques) sont généralement appliquées :

- Chaîne non déposée : Le nettoyage manuel ou par cryogénie est privilégié. Le nettoyage avec eau sous pression est dans la mesure du possible évité car il n'y a pas de méthode de lubrification simple, chaîne en place, qui garantisse en fin d'opération l'absence d'eau résiduelle au cœur des éléments de la chaîne.
- Chaîne déposée : Le nettoyage à l'eau sous pression ou chimique ou par cryogénie suivi d'une lubrification à cœur par mise en mouvement de la chaîne dans un bain du lubrifiant sélectionné est privilégié.

3. APPLICATION AUX VANNES DES BARRAGES DU RHIN

Les actions de surveillance et d'entretien en exploitation des chaînes sont programmées dans le PML. Le PML est adapté aux spécificités de chaque site et précise la périodicité des différentes actions à réaliser. Il peut préciser les produits à mettre en œuvre, voir les modes opératoires.

Les éléments ci-après sont donnés à titre indicatif, évoluent d'un site à l'autre, d'une région à l'autre et peuvent aussi évoluer dans le temps en fonction du retour d'expérience (boucle d'amélioration continue). Le retour d'expérience principal d'EDF Hydro est qu'il serait hasardeux de figer et décliner une seule et même pratique à l'ensemble des sites, tant les produits, les conditions d'exploitation et climatiques sont variables et évolutives.

Pour ce qui concerne les barrages exploités par EDF Hydro sur le Rhin, hors portes d'écluse donc, voilà ce qui est mis en œuvre, pour ce qui concerne la maintenance des chaînes Galle :

- Le PML de niveau 2 est réalisé au pas annuel ou biennal et consiste notamment au *graissage* des chaînes Galle.
- Le PML niveau 3 est réalisé au pas décennal. Ce niveau correspond aux actions de maintenance à réaliser sans démontage des chaînes. La périodicité peut être abaissée à 4/5 ans dans certains PML.
- Le PML niveau 4 n'a pas de périodicité systématique. Il est engagé en fonction de l'état des équipements établi à partir des PML de niveau 3. Ce niveau correspond à une révision avec démontage avec ou sans remplacement des chaînes, suivant l'état.

Suivant le niveau du PML, la nature et le périmètre des opérations menées diffère. De manière générique, pour les chaînes des vannes de barrage, voilà ce qui est mis en œuvre à EDF Hydro, à adapter aux conditions de site :

3.1. Surveillance et PML niveau 2²

Le PML niveau 2 consiste essentiellement en un suivi léger et un maintien en condition (entretien du « graissage »).

- La première action de maintenance consiste à réaliser périodiquement un contrôle visuel et dimensionnel (taux d'allongement) des chaînes. Le contrôle visuel de l'état des pignons et leur bon alignement peuvent faire partis du contrôle visuel. L'objectif de cette action préventive de suivi consiste à détecter les principaux désordres susceptibles d'apparaître sur les chaînes (grippage de maillons, pollution de la chaîne, absence de graissage, usure anormale des axes et/ou des plaques, mauvais alignement, etc. ...).
- Ces contrôles sont réalisés chaîne montée. Ils sont généralement intégrés à des opérations de nettoyage et de graissage de la vanne et s'inscrivent dans une action d'expertise plus générale de la chaîne cinématique de levage de la vanne (pignons d'engrènement, attaches, treuils, etc. ...). Le résultat de ces contrôles peut conclure, parfois, à la nécessité de remplacer les chaînes contrôlées.

Déclinaison opérationnelle :

Les maintenances de niveau 2 « biennales » des organes mécaniques des passes des barrages du Rhin sont, pour la partie mécanique, entièrement sous-traitées, à une société spécialisée qui fournit pour chaque intervention un rapport de son intervention ainsi que des éventuels désordres constatés.

L'essentiel de la prestation consiste à :

- Nettoyer la vanne à la lance d'incendie ou une lance haute pression pour enlever la boue, et évacuer les débris accumulés (bois, plastiques, etc.),
- Contrôler l'état des différentes parties de chaque organe (contrôles visuels, contrôles de serrage),
- Graisser des organes de manœuvre à la pompe à graisse,
- Graisser les chaînes ou les câbles pendant les manœuvres faites par l'exploitant EDF en deux temps : application d'un solvant, puis application d'huile après quelques heures, et d'une graisse de protection,
- Contrôler les niveaux d'huile dans les réducteurs.

Chaque barrage ayant ses spécificités, une liste des travaux à réaliser sur les vannes est établie. Chaque Exploitant fournit les lubrifiants aux prestataires pour réaliser les opérations de lubrification des chaînes (ou autres organes à graisser).

Spécificités de certains sites : aucun graissage de chaînes n'est effectué lorsque ces dernières et leurs pignons d'entraînement sont en inox.

3.2. Traitement chaîne en place (PML niveau 3)

Le PML niveau 3 consiste en une expertise approfondie et une maintenance « moyenne » pour permettre de maintenir le bon fonctionnement de la vanne. Sont notamment prévus :

- Effectuer une manœuvre partielle ou totale (suivant possibilité) de la vanne pour vérifier l'enroulement des chaînes sur les pignons d'engrènement (notamment absence de mailles raidies),
- Durant la manœuvre, vérifier l'absence de bruit suspect dans la chaîne cinématique du treuil,
- Mesurer (suivant possibilité) les diamètres des axes,
- Mesurer le pas de la chaîne sur une partie active tendue des chaînes et la comparer à la longueur théorique de la chaîne (après rattrapage des jeux de fonctionnement des plaques et des axes),
- Vérifier état usure pignon et son alignement,

² En référence à la norme NF X60-000 Maintenance

- Vérifier (suivant possibilité) l'absence de traces de matage sur les axes,
- Évaluer l'efficacité du graissage (identifier et corriger les éventuelles absences de graissage sur les différents composants) de la chaîne,
- Évaluer l'état de corrosion du « *kit chaîne* ».

Déclinaison opérationnelle :

Le nettoyage complet des chaînes est réalisé par des prestataires spécialisés, sans dépose et, selon les configurations de site, par travaux acrobatiques.

- Nettoyer par projection (hydrogommage, cryogénie) les excès de graisse et salissures sur les maillons,
- Réaliser les opérations de contrôle demandées,
- Déposer l'huile ou la graisse lors du passage de la chaîne sur le pignon d'engrènement pour une meilleure efficacité. Un chauffage préalable de l'huile permet une meilleure pénétration dans les articulations (liaison axes/plaques).
- Cette opération est classée en maintenance préventive de niveau 3.

NB : Il est tout fait possible de ne pas nettoyer complètement la chaîne, seulement à la spatule et au chiffon, avant mis en œuvre d'un re-graissage, afin notamment de ne pas risquer d'emprisonner d'humidité entre le moment où la chaîne est à nue, avant le nouveau regraissage. Cela se pratique aussi lorsque la lubrification est toujours active et présente. Là encore, c'est le REX local et l'historique d'exploitation qui pilote le PML.

3.3. Traitement chaîne déposée (PML niveau 4)

Lors d'opération lourde de maintenance (PML de niveau 4), les chaînes sont déposées pour être expertisée de manière approfondie et traitées en atelier afin de retrouver leur pleine et entière fonctionnalité.

L'expertise vérifie les points suivants :

- Vérifier l'absence de maille grippée (chaîne suspendue à un portique),
- Mesurer (suivant possibilité) les diamètres des axes,
- Mesurer la denture des pignons d'engrènement et déterminer à l'aide d'un gabarit l'usure présente,
- Vérifier (suivant possibilité) l'absence de traces de matage sur les axes et sur la denture des pignons,
- Évaluer l'état de corrosion,
- Mesurer le pas sur une partie active tendue des chaînes et la comparer à la longueur théorique de la chaîne (après rattrapage des jeux de fonctionnement des plaques et des axes),
- Procéder à des contrôles non destructifs de type ressuage ou magnétoscopie sur les axes et les pignons,
- Procéder à des contrôles non destructifs de type visuel et ressuage des différents points fixes (points fixes d'extrémité, attaches sur la vanne, fixation des pignons de mouflage, etc. ...).

Les chaînes sont ensuite traitées de manière approfondie

- Nettoyer la chaîne suivant le procédé retenu (souvent par bains),
- Lubrifier les chaînes suivant le procédé retenu.

Pour faciliter ces opérations, il est possible de disposer d'un jeu de chaînes de rechange afin de limiter les durées d'indisponibilité des vannes correspondantes. Dans cette configuration il est nécessaire de contrôler l'état de la denture des pignons d'engrènement et de renvoi (suivant les cas) avant l'échange standard (on parle de « kit chaîne » par analogie à ce qui peut se faire dans d'autre secteur de l'industrie et des transmissions mécaniques notamment). Les chaînes traitées sont ensuite stockées de manière pérenne (caisse + emballage longue durée) en prévision de leur prochaine utilisation.

4. DYSFONCTIONNEMENTS RECENTS SURVENUS LES CHAINES DES VANNES DES BARRAGES DU RHIN ET ARBRE DES CAUSES

Dans le cadre d'un processus d'amélioration en continu, et afin de se servir du retour d'expérience pour ajuster leurs pratiques, les services en charge de la maintenance des organes de vantellerie d'EDF Hydro Est ont analysé les principaux dysfonctionnements récemment constatés sur le Rhin :

- Saut de chaîne lors d'une manœuvre pour des besoins de chantier,
- Déraillement de la chaîne (grippage de maillons).

Dans la plupart des cas, il s'agit d'un défaut de qualité de la lubrification des chaînes. La première étape dans la fiabilisation de cette lubrification des chaînes des barrages du Rhin a consisté à explorer les causes possibles pouvant conduire à une mauvaise lubrification des chaînes.

Un exemple d'analyse « type arbre des causes » est fourni sur le schéma suivant. Le choix des produits et leur condition de mise en œuvre (demandées par EDF et/ou proposées par le mainteneur) y figurent en bonne place, ce qui met en lumière le soin et la vigilance à apporter des gestes de maintenance.

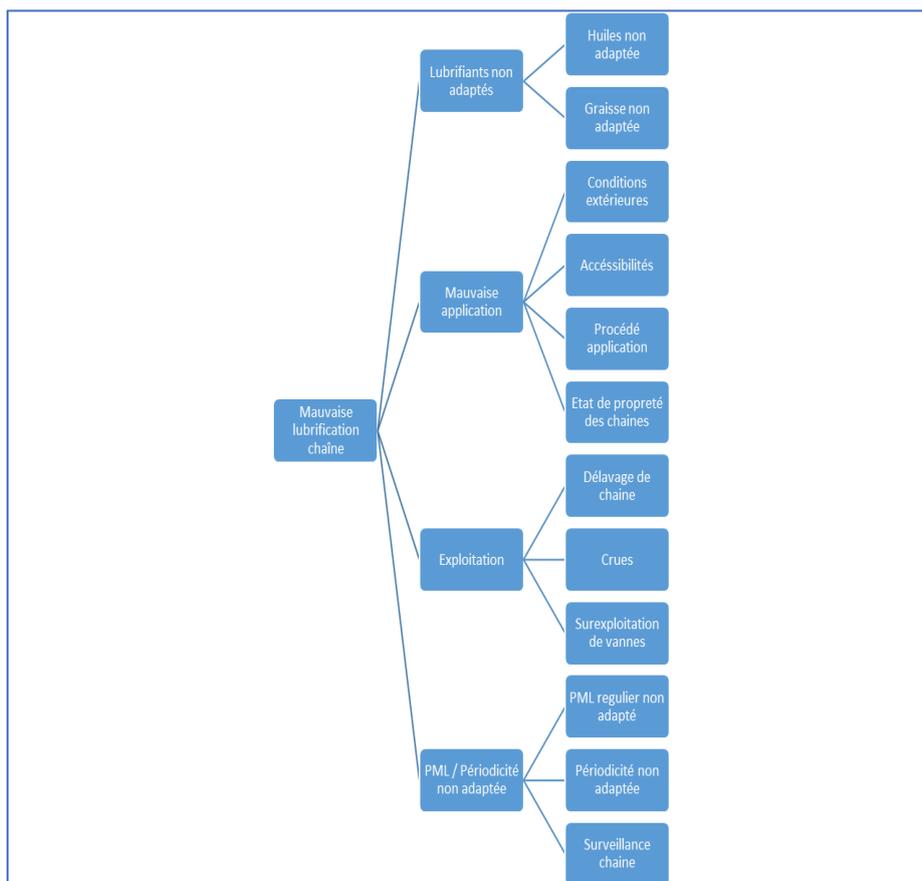


Schéma 1 : Arbre des causes conduisant à un dysfonctionnement des chaînes.

5. CARTOGRAPHIE DES LUBRIFICATIONS DES CHAINES DES VANNES DES BARRAGES DU RHIN

Chaque chaîne a été expertisée par le service technique d'EDF-Hydro Est. Ci-après sont présentés quelques éléments notables et piste d'amélioration issus de ces inspections in-situ et analyses des pratiques.

Les constats ont été :

- Si sur une passe, l'état des chaînes est plutôt homogène, sur un barrage, il y a des disparités entre les différentes passes.
- Les difficultés d'accès à certaines portions de chaînes posent des problèmes pour le suivi et le traitement de ces zones.
- Le marnage aval d'un barrage peut, selon la conception de la passe, amener une dégradation rapide de la lubrification des maillons inférieurs
- Les fuites localisées sur des vannes entraînent des délavages ponctuel et rapide pouvant mettre en cause la bonne fonctionnalité de la chaîne.
- Les modalités de mise en œuvre des produits peuvent présenter des difficultés et conduire à des disparités de qualité de lubrification.
- La compatibilité des produits utilisés lors d'évolution de référence ou de marque n'est pas forcément assurée. La fin annoncée de certaines références de produits utilisés jusqu'alors doivent nous réinterroger sur les produits et les pratiques à mettre en œuvre.

De ces constats, nous avons tiré les pistes d'améliorations suivantes :

- Il faut proposer un pas de suivi et d'entretien cohérent avec nos périodes d'entretien et de détérioration de la protection
- La fiabilisation des accès ou le recours à des travaux sur cordes doivent être préparés et décidés en amont pour améliorer le suivi notamment aux zones soumises au marnage.
- Le suivi des fuites et leur impact sur la chaîne doivent être bien intégrés au plan de maintenance et pris en compte par les exploitants.
- Le partage des modalités d'application, de traitement et d'entretien du graissage doivent être partagés en interne mais aussi avec nos prestataires de maintenance afin d'homogénéiser les pratiques et surtout la qualité et donc la durabilité du traitement.
- Le changement de référence d'un produit de lubrification doit faire l'objet d'une validation du service technique et passer par une remise en état de la chaîne adaptée à la maintenance prévue sur la vanne (nettoyage sur site a minima, traitement en atelier si maintenance lourde).

6. PRECONISATIONS EMISES PAR LE SERVICE TECHNIQUE D'EDF-HYDRO EST

Sur la base des inspections de l'ensemble des barrages du Rhin évoquées au paragraphe précédent, plusieurs préconisations pour les aménagements exploités par Hydro-Est ont été émises. Elles sont listées ci-dessous par ordre d'importance :

1. **Périodicité du re graissage d'une chaîne recommandée à 2 ans au maximum.** Une surveillance accrue de ces chaînes au pas semestriel ou en cas d'épisode de crue doit être engagée afin de garantir le bon état de cette lubrification et permettre d'anticiper si besoin une campagne de graissage afin de d'éviter un grippage ou un autre dysfonctionnement sur ces chaînes.
2. **Utilisation de couples de produits avec application par pulvérisation ou pulvérisation+ application à la main suivant les produits employés.**
3. **Appel à des cordistes ou à des équipes formées aux travaux en hauteur** lorsque l'accès aux chaînes est difficile, ceci afin de garantir un graissage uniforme et de qualité sur l'ensemble de la chaîne.
4. **Campagne de nettoyage des graisses a minima toutes les deux maintenances et avant tout changement de référence de produits lubrifiants.** Ceci afin de garantir l'imprégnation de l'huile, éviter une lubrification partiellement efficace du fait de la présence de résidus de la couche protectrice issue du précédent graissage. Ceci évitera également la réaction entre deux produits incompatibles.
5. **Lubrification des chaînes sur l'intégralité de leur longueur active**, non plus uniquement sur les zones accessibles.
6. **Campagne de regraissage en pieds de vannes (premiers maillons)** à envisager si le besoin de garantir l'articulation des chaînes dans ces zones est nécessaire.
7. **Passage éventuel à des chaînes en inox** lors du remplacement des chaînes mais doit être dument étayé et étudié. Ce changement n'est pas systématique. En effet, une étude récente a montré que le passage à des chaînes inox entraînait une réduction du coefficient de sécurité de la chaîne et un surcout élevé, sans apporter de garanties supplémentaires déterminantes. Cette option n'a donc pas été retenue.

Ces préconisations engendrent une augmentation des coûts de maintenance. Une action est en cours pour atténuer les surcoûts, en mettant en place de nouveaux contrats cadre de maintenance notamment.

7. ILLUSTRATIONS D'OPERATION DE MAINTENANCE DE LUBRIFICATION DE CHAÎNE DE VANNE DE BARRAGE

	
<p><i>Chaines sont bien graissées, graissage uniforme, présence de graisse sur les barreaux.</i></p>	<p><i>Chaines jugées sèches, la graisse est présente mais nécessite un regraissage dans l'année.</i></p>
	
<p><i>Exemple de graissage en partie haute d'une chaîne.</i></p>	<p><i>Exemple de graissage en partie basse d'une chaîne.</i></p>

Exemple de chantier de nettoyage et re-lubrification d'une chaîne « en place » des chaînes d'un évacuateur de crue :



Après Nettoyage par cryogénie
(opérations réalisées chaînes en place)

Après Huilage

Après huilage+graissage

Exemple de chantier de nettoyage et re-lubrification d'une chaîne « en place », avec mise en place d'un barrage flottant (chantier EDF Hydro Centre) :

