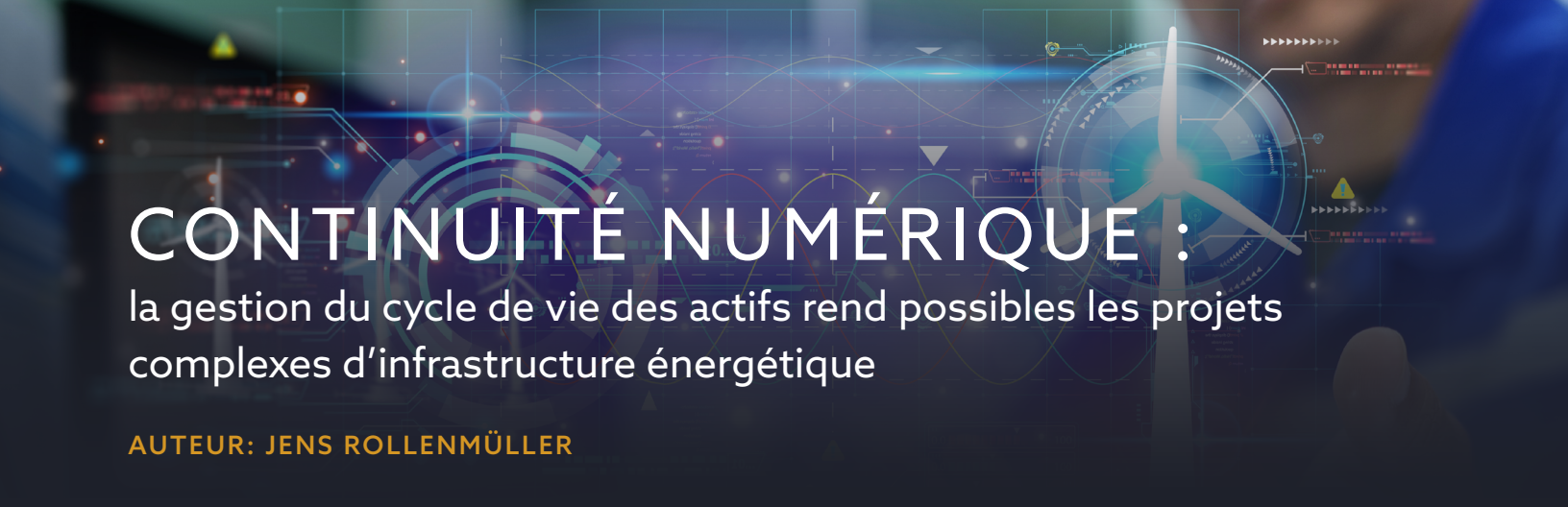




CONTINUITÉ NUMÉRIQUE :

la gestion du cycle de vie des actifs rend possibles les projets complexes d'infrastructure énergétique

AUTEUR: JENS ROLLENMÜLLER

Article original publié en allemand : Rollenmüller, J. (2025) Digital Thread: Ein Asset Lifecycle Management macht komplexe Energieinfrastruktur-Projekten beherrschbar. ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE TAGESFRAGEN. 75. Jg. Vol. 5-6, pp. 76-79

Les projets d'infrastructure dans le secteur de l'énergie s'étendent généralement sur plusieurs années, entraînant des risques importants. Au fil du temps, les normes techniques, les conditions du marché ou même les fournisseurs peuvent évoluer, ce qui peut perturber l'avancement des travaux. La gestion du cycle de vie des actifs (ALM) répond à ces défis en offrant à toutes les parties prenantes une transparence maximale tout au long du cycle de vie du projet, en reliant des silos de données auparavant isolés. Cela réduit l'incertitude liée à la planification, diminue les coûts et accélère l'exécution. La continuité numérique mise en place grâce à l'ALM soutient également l'exploitation des installations, comme le montre l'exemple d'un parc éolien offshore.

Les infrastructures énergétiques actuelles sont façonnées par des processus très dynamiques qui nécessitent des ajustements continus et agiles sur des périodes prolongées. L'expansion des énergies renouvelables, les exigences réglementaires, les pics de charge fluctuants liés à la mobilité électrique et les centrales de production décentralisées, telles que les centrales électriques domestiques, augmentent la complexité à un niveau qui dépasse les capacités des méthodes traditionnelles de gestion de projet. Dans ce contexte, l'ALM s'impose comme une technologie clé pour contrôler en temps réel la planification, la construction et l'exploitation des infrastructures énergétiques, garantissant ainsi la compétitivité à long terme des opérateurs de réseau et des énergéticiens.

Une série de défis doivent avoir été pris en considération. Alors que les exigences réglementaires, telles que la directive européenne sur l'extension du réseau, deviennent plus strictes, les évolutions du marché et l'intégration des générateurs décentralisés nécessitent une logistique des données inédite. Aujourd'hui, les courtiers en électricité ou les gestionnaires de réseaux de transport (GRT) doivent non seulement coordonner des projets à grande échelle tels que les parcs éoliens offshore,

mais aussi gérer la synchronisation de millions de petits points d'alimentation, une tâche trop complexe pour les feuilles de calcul Excel et les processus manuels. Les implications sont claires : retards dus à des changements non documentés, efforts inutiles dus à des doublons et risque accru de non-conformité.

Les systèmes ALM pallient ces faiblesses grâce à une transparence de bout en bout et à un accès simplifié à l'information. En cartographiant et en reliant numériquement toutes les phases du projet, de l'approvisionnement à la construction en passant par l'exploitation, ils garantissent la transparence dans toutes les disciplines. Les contrats, les spécifications techniques et les communications avec les fournisseurs ne sont plus des documents statiques, mais des éléments de données liés dynamiquement. Si, par exemple, la configuration de certains câbles aux points d'alimentation d'un parc éolien change, le système peut automatiquement afficher tous les composants dépendants et identifier les risques. Cela s'applique de la planification des sous-stations au calcul de la réserve d'exploitation.

Pour relever ces défis, Aras, leader dans le domaine de la gestion du cycle de vie des produits (PLM) et des solutions de continuité numérique, a conclu un partenariat stratégique avec AVEVA afin de fournir des solutions de gestion du cycle de vie des actifs. Les solutions basées sur la plateforme Aras seront développées et commercialisées en collaboration avec AVEVA. Dans le cadre de cette collaboration, Aras Innovator a été spécialement adapté et utilisé avec succès dans un projet pilote ALM pour un parc éolien offshore. Résultat : une réduction du risque financier et un délai de mise sur le marché considérablement raccourci, un facteur décisif au regard des objectifs de l'UE en matière de développement de l'énergie éolienne. En effet, une seule modification non synchronisée de l'architecture du réseau peut entraîner des coûts supplémentaires de plusieurs millions. La plateforme ALM fournit également la base technique pour l'intégration d'outils de prévision assistés par l'IA, par exemple pour identifier à un stade précoce les goulots d'étranglement dans la chaîne d'approvisionnement et proposer des scénarii alternatifs.

DES AVANTAGES CONCRETS POUR LES PROJETS EN COURS

Les clients et les participants au projet peuvent utiliser un système ALM pour supprimer de nombreux blocages récurrents au cours du projet et bénéficier d'avantages économiques :

Contrôler les demandes de modification, identifier les dépendances

Les demandes de modification ne sont pas des exceptions dans les projets à grande échelle, elles en font partie intégrante, motivées par des cycles de planification qui s'étendent souvent sur plusieurs années. Le problème central : les spécifications techniques qui sont d'actualité au moment de l'achat peuvent être obsolètes au moment de la mise en œuvre du projet. Par exemple, une isolation de câble spécifique peut devenir indisponible en raison de changements dans les normes du fabricant. De tels écarts peuvent entraîner un manque d'efficacité administrative et accroître les risques tels que les perturbations de la chaîne d'approvisionnement ou les augmentations de coûts.

C'est là que l'ALM intervient en tant que mécanisme puissant. En connectant numériquement toutes les parties prenantes et en cartographiant les exigences en temps réel, le système permet une analyse proactive en cascade des changements. Chaque demande de modification est immédiatement évaluée en fonction de ses dépendances, par exemple, comment une modification de câble affectera l'architecture du réseau, les termes du contrat ou la réserve d'exploitation. Ce niveau de transparence garantit que les conséquences d'un changement sont identifiées tôt, évitant ainsi des ajustements coûteux et complexes plus tard dans le projet.

Les demandes de modification peuvent être traitées beaucoup plus rapidement, les composants concernés étant identifiés et des propositions alternatives générées. Le système offre également des options de workflows de publication personnalisés, guidant les changements à travers des étapes de validation par des tests tels que la faisabilité technique, la conformité contractuelle et l'évaluation des coûts avant leur mise en œuvre. Cette approche offre une plus grande fiabilité de planification pour toutes les personnes impliquées.

Intégration des sous-traitants

Les systèmes ALM simplifient la coordination des projets grâce à une collaboration en temps réel entre toutes les parties prenantes sur une plateforme centralisée. Ceci est particulièrement utile dans les projets de grande envergure avec des dizaines de sous-traitants - du fournisseur de câbles à l'expert en homologation en passant par les constructeurs de fondations d'éoliennes - où l'intégration numérique permet une synchronisation transparente entre toutes les disciplines.

Grâce à un accès aux données pertinentes basé sur un navigateur et adapté à chaque fonction, les fournisseurs et les partenaires peuvent interagir efficacement, ce qui accélère les négociations contractuelles complexes avec des partenaires répartis dans le monde entier. Par exemple, un fournisseur en Asie peut s'aligner sur les spécifications techniques directement avec le gestionnaire du réseau de transport en Europe, tandis qu'un consultant au Royaume-Uni commente les clauses du contrat dans le même document. Cette collaboration élimine les frontières physiques mais réduit également les dysfonctionnements. Les discussions, les demandes de modification et les approbations se déroulent dans un cadre normalisé, de la première version à la signature finale. Pour les directeurs de projet, cela signifie remplacer des semaines de chaînes de courriels ou de lourdes requêtes SharePoint par une visibilité instantanée via le tableau de bord ALM, qui indique en temps réel l'état d'avancement de toutes les négociations.

Par ailleurs, chaque offre et chaque accord fait l'objet d'une traçabilité numérique, ce qui ne laisse aucune place à l'interprétation par la suite. L'ALM garantit une communication cohérente et transparente depuis le lancement du projet jusqu'à son achèvement, avec la flexibilité supplémentaire de signer séparément les sous-projets achevés. En réduisant la coordination manuelle, les phases de négociation et les cycles d'approbation sont considérablement raccourcis et la sécurité juridique augmente.

Conservation durable des informations pour plusieurs générations de projets

Le transfert systématique des informations est particulièrement précieux dans l'environnement complexe des GRT, où plusieurs grands projets d'infrastructure sont souvent menés en parallèle. L'échange continu d'informations entre les différentes phases du projet devient crucial, en particulier lorsque le calendrier du projet s'étend sur plusieurs années. Un modèle de données ALM cohérent, soutenu par une continuité numérique, garantit la transparence à travers les cycles de projet, sécurise les décisions importantes grâce à la documentation, et fournit aux décideurs le contexte nécessaire pour des décisions stratégiques bien fondées.

Réduire les coûts grâce à des pièces standardisées

Les solutions individuelles dans les projets de grande envergure se révèlent souvent être un point faible. Bien que les composants personnalisés semblent souvent être optimaux pour les exigences spécifiques lors de la phase de planification, les limites se révèlent à long terme. Lors des travaux de maintenance, les techniciens doivent souvent se procurer des pièces de rechange spécialisées qui ne sont peut-être plus produites, tandis que l'extension du réseau est rendue difficile par l'incompatibilité

des interfaces. Les systèmes ALM offrent une plateforme pour engager la normalisation nécessaire en permettant d'utiliser les exigences techniques dans des modules pour les achats futurs. Avantage pratique : lorsque certains systèmes sont normalisés pour plusieurs projets, les organisations gagnent en efficacité au niveau des achats, ce qui réduit les coûts pendant la construction et l'exploitation à long terme. Dans le même temps, les coûts d'ingénierie sont réduits car les spécifications existantes peuvent être adaptées.

L'importance stratégique va au-delà des économies immédiates. Les composants et les interfaces standardisés permettent une expansion progressive du réseau, comme l'exige l'intégration de centrales de production décentralisées. Au fil du temps, cette approche conduira au renouvellement de l'infrastructure énergétique. Tout comme les stratégies de plateforme dans l'industrie automobile ont transformé les cycles de développement, la normalisation permise par l'ALM débloque des synergies à l'échelle industrielle.

Un autre avantage est l'augmentation de la résilience. Les composants standardisés, avec de nombreux fournisseurs, minimisent le risque de pénurie de main-d'œuvre. Parallèlement, la disponibilité simplifiée des pièces de rechange accélère le dépannage. Cette transformation vers une stratégie d'écosystème collaboratif est rendue possible par l'ALM en tant que catalyseur technologique.

Définir de nouveaux contrats plus rapidement et en toute confiance

La gestion des contrats par le biais de systèmes ALM répond à l'un des principaux problèmes : la complexité croissante des contrats combinée à une pression de plus en plus forte sur les coûts. Des modules évolutifs issus d'une bibliothèque de modèles centralisée complètent la création manuelle de documents. Les clauses récurrentes - telles que celles relatives aux limitations de responsabilité ou aux périodes de garantie - sont stockées sous forme de modules numériques et peuvent être combinées avec flexibilité.

Cette approche réduit considérablement les efforts nécessaires à la rédaction des contrats, en permettant aux équipes de réutiliser des formulations déjà validées et d'accélérer les approbations. Dans le même temps, le système facilite le respect de la législation sur les marchés publics et les aides d'État de l'UE. La base de données dynamique qui en résulte se transforme en un actif stratégique dans lequel chaque contrat peut être systématiquement analysé après sa conclusion : Quelles clauses ont donné lieu à des renégociations ? Où y a-t-il eu des retards de livraison ? Les

connaissances acquises sont intégrées dans la conception des futurs contrats et les optimisent en permanence. Grâce à la consolidation systématique de l'expérience acquise dans le cadre d'un projet, les connaissances des différents directeurs de projet ne sont plus cloisonnées, mais deviennent accessibles et utilisables par tous sous la forme d'une mémoire structurée.

Assurer la conformité et informer les fournisseurs

Les directives européennes - telles que le règlement relatif à l'extension du réseau ou la directive sur les énergies renouvelables - définissent le cadre général, tandis que les exigences environnementales locales ou les réglementations municipales en matière de construction réduisent le champ d'application des nouveaux projets d'infrastructure énergétique. Les mécanismes de conformité conventionnels ou les listes de contrôle manuelles ne suffisent pas face à un paysage de plus en plus complexe. Les systèmes ALM transforment la conformité - non pas comme un mécanisme de contrôle réactif, mais comme un élément intégré et proactif intégré tout au long du cycle de vie du projet. Chaque composant, du poste de transformation au câble souterrain, peut être comparé aux réglementations en vigueur grâce à l'ALM. Les spécifications techniques sont liées aux catalogues de normes et les fournisseurs ont une visibilité en temps réel des certifications requises pour leurs composants. Cette approche offre également l'agilité réglementaire indispensable à la transition énergétique. Lorsque de nouvelles réglementations européennes sont adoptées, les projets contrôlés par ALM s'adaptent rapidement en mettant à jour les règles de conformité.

Présenter l'avancement de la construction en toute transparence

Pendant la phase de construction, les systèmes ALM peuvent synchroniser en temps réel les contrôles d'avancement, les résolutions de défauts et les rapports d'acceptation. Au lieu de s'appuyer sur des feuilles de calcul Excel manuelles ou des communications par courrier électronique fragmentées, toutes les parties prenantes impliquées documentent leur statut directement dans le système central. Une fois qu'une tâche de construction est considérée comme achevée, un processus est déclenché, couvrant tous les aspects, du contrôle de la qualité à la réception. Si des défauts sont détectés, un processus d'escalade peut également être déclenché, dans lequel les parties responsables reçoivent des tâches prioritaires, et la phase de correction est enregistrée. Cela permet de réduire considérablement le temps nécessaire à la correction des défauts.



Contrairement aux approches traditionnelles de gestion de projet, où les données essentielles sont souvent enfouies dans des dossiers SharePoint non structurés ou des PDF locaux, les systèmes ALM stockent les informations sous forme d'ensembles de données conformes à la norme BIM et contrôlés électroniquement. Cela permet non seulement de réduire le risque d'erreurs coûteuses, mais aussi d'assurer une traçabilité complète pour les auditeurs. Résultat : un meilleur respect des délais, une réduction des cycles de reprise et une plus grande efficacité du projet.

UN FLUX DE DONNÉES CONTINU DU DÉBUT À LA FIN

Les systèmes ALM sont en train de changer la donne stratégique pour les GRT et les autres acteurs du secteur de l'énergie. Face à des défis de taille - allant de l'expansion des connexions éoliennes en mer à l'intégration de sources d'énergie renouvelables - ces plateformes se transforment en outils de gestion essentiels pour les infrastructures vitales.

En effet, les systèmes ALM relient des sources de données précédemment isolées (par exemple, des documents contractuels, des modèles BIM, des données de capteurs IoT et des journaux de maintenance) en un flux de données en temps réel. Cette intégration constitue la base parfaite pour une continuité numérique de bout en bout, c'est-à-dire une mise en réseau transparente des données tout au long du cycle de vie des actifs. La traçabilité sans faille de tous les processus de planification et de prise de décision garantit que les informations peuvent être réutilisées efficacement, réduisant ainsi les risques liés au projet sur le long terme. Par exemple, si les spécifications d'une sous-station changent, tous les processus dépendants peuvent être adaptés - certains automatiquement - depuis la planification des matériaux et le calcul des coûts jusqu'aux tests de conformité.

LES JUMEAUX NUMÉRIQUES OFFRENT UN POTENTIEL D'OPTIMISATION

La continuité numérique constitue également la base de données d'un jumeau numérique potentiel qui va au-delà de la simple visualisation en 3D. Il décode les dépendances complexes et les risques potentiels, permet de nouvelles dimensions de reconnaissance des structures et relie les données de planification, les capteurs d'exploitation, les données de performance, les données météorologiques des éoliennes et les historiques de maintenance pour créer un modèle dynamique et holistique.

Il en résulte une représentation virtuelle exacte du système physique. Cela permet la simulation, le contrôle et l'optimisation continue. En même temps, les applications d'intelligence artificielle peuvent continuellement obtenir de nouvelles informations à partir de cette masse de données et améliorer la qualité de l'analyse. Dans la pratique, ce lien en temps réel entre les données d'exploitation, les informations historiques sur la maintenance et les facteurs d'influence externes tels que les prévisions météorologiques ouvre des perspectives déterminantes :

- **Maintenance prédictive** : Les applications d'IA détectent les anomalies sensibles dans les systèmes tels que les sous-stations ou les turbines éoliennes avant qu'elles ne tombent en panne, en utilisant des données telles que les changements de température ou des modèles de bruit anormaux.
- **Potentiel d'innovation stratégique** : Dans les jumeaux numériques, les innovations et les améliorations peuvent être virtuellement simulées, testées et mises en œuvre à titre d'essai, sans intervention physique ni risque pour le système en fonctionnement.
- **Simulation de pointe** : Avant d'intégrer un nouveau parc éolien, les gestionnaires de réseau peuvent évaluer et optimiser les effets systémiques sur la stabilité du réseau et l'équilibrage des besoins énergétiques dans des environnements virtuels.

LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DEVIENT TECHNIQUEMENT ET ÉCONOMIQUEMENT FLEXIBLE

Les systèmes ALM agiles servent de base numérique pour tous les processus de planification et d'exploitation, ce qui les rend adaptés à la gestion d'actifs individuels et à des simulations globales de réseaux. Contrairement aux solutions logicielles isolées, leur principal avantage réside dans le lien en temps réel entre l'infrastructure physique (transformateurs, éoliennes, etc.) et les facteurs externes dynamiques tels que les exigences réglementaires, les fluctuations de la demande d'électricité, les

accords avec les fournisseurs et les fluctuations météorologiques de l'apport en énergie renouvelable. Cet environnement de données interconnectées crée une vue à 360 degrés qui permet non seulement de visualiser les dépendances complexes, mais aussi d'effectuer des analyses prédictives.

Les solutions modernes - telles que les solutions de gestion du cycle de vie des actifs d'AVEVA, développées par Aras Innovator - permettent l'intégration des données en temps réel afin d'automatiser les processus. À long terme, la combinaison de l'ALM, des jumeaux numériques et de l'analyse des données pilotée par l'IA permettra de passer du statut d'opérateur de réseau à celui d'architecte systèmes. La gestion du cycle de vie des actifs est bien plus qu'un simple outil informatique - elle sert de base opérationnelle à une infrastructure énergétique résiliente. Seule cette approche holistique axée sur les données permet aux parties prenantes du secteur de l'énergie de relever le double défi de l'expansion rapide des capacités renouvelables tout en assurant la stabilité d'un réseau de plus en plus décentralisé. Cela rend la transition énergétique non seulement techniquement réalisable, mais aussi économiquement évolutive.