PremFixer Fasteners

LIVRE BLANC TECHNIQUE

Systèmes de fixation des pivots

pour vélos tout-suspendus

Interfaces · Matériaux · Validation

ÉDITION VISUELLE COMPLÈTE — CONCEPT UNIQUEMENT

Les 37 visuels du corps du document et la couverture sont des visualisations d'ingénierie conceptuelles dont le texte de publication a été généré de façon programmatique. Aucun ne documente une configuration produit, une usine, un dossier de contrôle, un résultat d'essai en laboratoire ou sur le terrain, une certification, un cas client ou des données de performance vérifiées de PremFixer Fasteners. Les preuves publiques étayent uniquement le raisonnement d'ingénierie ; les allégations propres aux produits exigent encore la clôture probante définie dans ce livre blanc.

Solutions système de fixation de pivots haute performance pour vélos tout-suspendus

Livre blanc d’ingénierie : solutions système de fixation de pivots haute performance pour vélos tout-suspendus

Sous-titre
Kits complets de fixation de pivots adaptés à chaque modèle, procédés d’usinage CNC des axes de pivot et solutions d’ingénierie intégrées pour la fabrication de vélos tout-suspendus

Positionnement de la solution : kits complets de fixation de pivots adaptés à chaque modèle · solutions d’usinage CNC des boulons/axes de pivot · solutions d’ingénierie intégrées

Version : Édition V2.0 – Preuves
Éditeur : PremFixer Fasteners
Type de document : Livre blanc d’ingénierie
Date de clôture des recherches : 2026-08-10

Public visé et objectif du document

Ce livre blanc s’adresse aux :

- fabricants de cadres de vélos ;
- usines d’assemblage de vélos tout-suspendus ;
- équipes R&D et produit des marques de MTB / E-MTB ;
- fabricants de biellettes de suspension et de composants ;
- équipes d’ingénierie qualité fournisseur (SQE) ;
- ingénieurs conception, mécanique et fabrication ;
- équipes achats stratégiques et approvisionnement ;
- équipes après-vente, garantie et service.

Son objectif n’est pas de débattre du « prix auquel devrait être vendu un boulon », mais d’établir un cadre plus complet pour la question d’ingénierie sous-jacente :

> **Comment la visserie de pivot influence-t-elle la sécurité structurelle, la durée de vie des roulements, la régularité de l’assemblage, les phénomènes NVH, la corrosion, le service après-vente et le coût total du cycle de vie ?**

Positionnement de la solution PremFixer Fasteners

Pour la fabrication de vélos à suspension arrière/tout-suspendus, PremFixer Fasteners étend la livraison d'« une fixation standard » à un **système complet de solutions de fixation de pivots défini pour chaque modèle**. Le périmètre peut couvrir différents types de vélos et environnements de charge, notamment XC, Trail, Enduro, DH et E-MTB, et établir les combinaisons de fixations correspondantes autour des interfaces de cadre, biellette, roulement et assemblage de chaque client.

Un ensemble de solutions type comprend :

- des solutions d'usinage CNC de précision et un parcours DFM pour les boulons de pivot, axes de pivot et vis à épaulement ;
- des entretoises, rondelles, inserts filetés et éléments de positionnement adaptés aux bagues intérieures de roulement et aux interfaces de biellette ;
- des éléments de contrôle environnemental et d'assemblage tels que joints toriques, joints, rondelles isolantes, graisse et interfaces de blocage ;
- des kits complets de fixations organisés par position de pivot, la correspondance avec la nomenclature, l'ordre d'assemblage, la stratégie de blocage/lubrification et les interfaces de traçabilité.

La logique de solution intégrée de PremFixer Fasteners est la suivante :

> **Définition du vélo et des charges → décomposition des interfaces de pivot → conception des fixations et de l'empilage des roulements → DFM → usinage CNC → stratégie de surface et d'isolation → fourniture en kit → assistance à l'assemblage → boucle fermée de validation et de traçabilité**

Ce positionnement décrit le périmètre de la solution et la méthode d'ingénierie ; il ne constitue pas automatiquement une allégation vérifiée de capacité de production en série ou de performance produit. Les matériaux, tolérances dimensionnelles, couples, efforts de serrage, Cpk, résistance au brouillard salin, fatigue, délais et compatibilité avec les modèles de vélos doivent encore être clôturés individuellement selon le système de preuves E0–E5 défini dans ce livre blanc.

Déclaration relative aux preuves

La V2.0 utilise une « double chaîne de preuves » :

Preuves issues de la littérature externe

Ces preuves répondent à la question suivante :

> Existe-t-il des preuves publiques de ce mécanisme d'ingénierie, de cette méthode d'essai ou de cette pratique industrielle ?

Niveaux de sources :

Niveau	Type de preuve	Sources types
X1	Normative / réglementaire	ISO, ECHA, EUR-Lex
X2	Évaluée par les pairs / recherche primaire	Springer, ScienceDirect, MDPI, dépôts universitaires
X3	Technique OEM / industrielle	Informations techniques officielles de marques de vélos, SKF, Henkel, etc.
X4	Contexte de marché	Spécifications actuelles de vélos complets et tendances publiques du secteur

Preuves produit PremFixer Fasteners

Ces preuves répondent à la question suivante :

> Qu'a réellement atteint un SKU, un lot, un matériau et un procédé précis de PremFixer Fasteners dans des conditions d'essai clairement définies ?

Niveaux :

Niveau	Preuve	Définition
E0	Hypothèse / cible	Aucun résultat d'essai propriétaire à ce jour ; uniquement une cible, une hypothèse ou un point à valider
E1	Analyse d'ingénierie	Calculs de plan, chaîne de cotes, FEA et analyse théorique
E2	Essai de composant	Dimensions, matériau, brouillard salin, dureté, résistance d'un composant, etc.
E3	Essai de liaison / sous-ensemble	Couple–effort de serrage, vibration transversale, démontages/remontages répétés et empilage de roulements
E4	Validation au niveau du cadre	Validation au niveau d'un véritable système cadre/biellette
E5	Validation sur le terrain	Production en série, roulage longue durée et données de garantie/terrain

> **Les publications publiques peuvent établir « pourquoi il convient de concevoir ainsi », mais ne peuvent remplacer les essais produit propres à PremFixer Fasteners.**

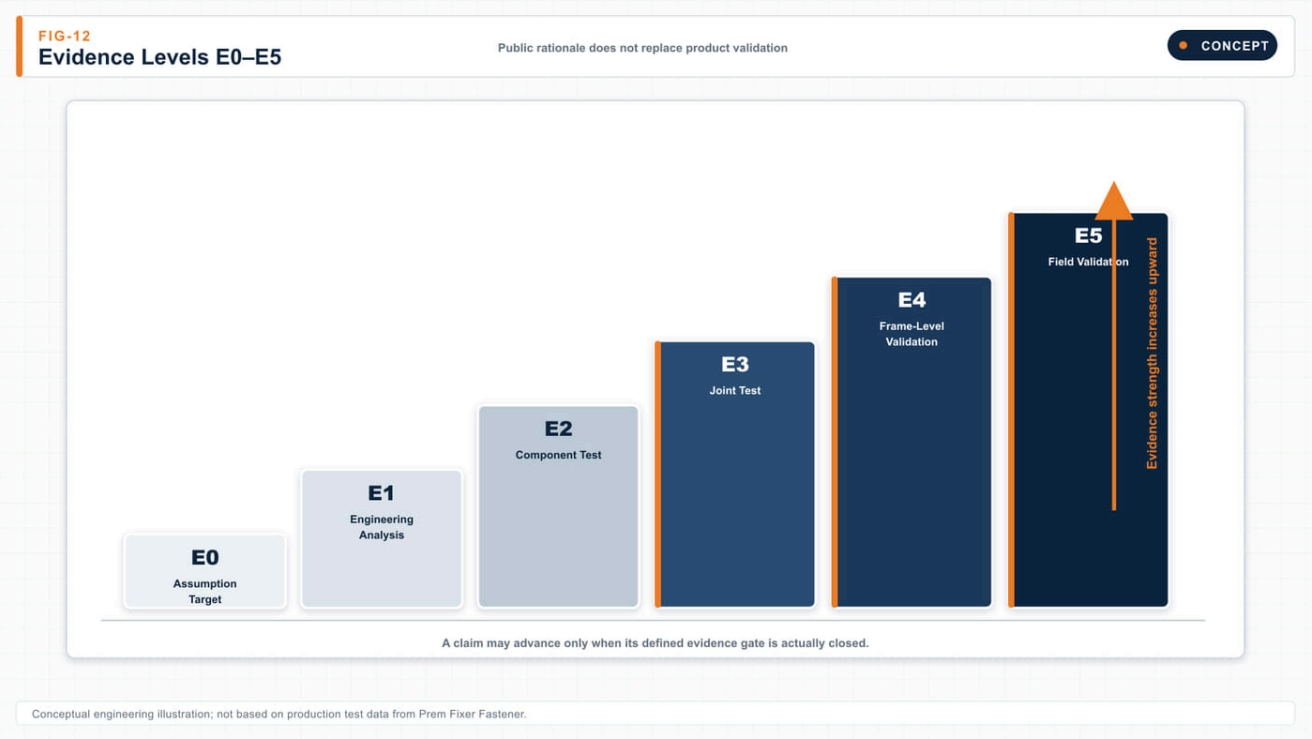


FIG-12 · Figure d'ingénierie — Figure FIG-12. Niveaux de preuve E0–E5, de l'hypothèse ou de la cible à la validation sur le terrain. Le raisonnement public ne remplace pas la validation propre au produit. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

Limites d’ingénierie importantes

1. Ce document n’extrapole pas le résultat d’une seule publication en une performance universelle de toute visserie de pivot.
2. Ce document ne convertit pas les heures de brouillard salin en années de roulage réel.
3. Ce document ne présente pas les normes générales sur les fixations comme une certification propre aux vélos.
4. Ce document n’étend pas automatiquement le résultat d’un SKU à une gamme entière de produits.
5. [PF-VERIFY], [TARGET] et [MODEL] signalent des points qui exigent encore une clôture au moyen de données PremFixer Fasteners ou du projet client.
6. Les plans client, accords techniques, réglementations du marché cible et exigences de validation du vélo complet priment toujours sur ce livre blanc.

Résumé

Dans un vélo tout-suspendu moderne, les boulons de pivot, axes de pivot, vis à épaulement, entretoises, rondelles, roulements, inserts filetés, joints et produits de blocage forment ensemble une interface mécanique fortement couplée. Leur coût d'achat direct est généralement bien inférieur à celui du cadre, de l'amortisseur ou de la transmission. Toutefois, si une liaison de pivot subit une perte d'effort de serrage, des micro-mouvements, de la corrosion, du grippage, une contamination des roulements ou un écart d'assemblage, les conséquences peuvent couvrir plusieurs niveaux de coûts — du bruit à la reprise du cadre, et de la défaillance prématurée d'un roulement à une garantie à l'étranger.

Les recherches publiées sur les assemblages boulonnés montrent un couplage complexe entre précharge, charge transversale et conditions de frottement. Une précharge insuffisante peut favoriser le desserrage, tandis qu'une précharge excessive peut accroître le risque de surcharge ou de dépassement de la limite de fatigue.[R1][R2] Les sources d'ingénierie des roulements indiquent qu'un ajustement insuffisant, un faible mouvement relatif et l'état de surface peuvent favoriser la corrosion de contact au siège de roulement.[R5][R6] Les informations publiques d'entretien et de visserie des marques MTB haut de gamme montrent en outre que les systèmes de pivot réels emploient, selon la position, de la graisse, du frein-filet, de l'antigrippant, du produit de retenue et des couples de montage distincts, au lieu de traiter toutes les fixations comme une même catégorie de « quincaillerie ».[R8][R9]

En conséquence, ce livre blanc propose que :

> **La visserie de pivot soit considérée comme un objet d'ingénierie système composé de pièces d'axe de précision + assemblages filetés maîtrisés + interfaces de roulement + étanchéité environnementale + interfaces de service après-vente.**

Dans ce cadre, PremFixer Fasteners ne se positionne pas comme vendeur de boulons de pivot isolés, mais comme partenaire d'ingénierie qui organise des kits complets de fixation définis par position de pivot et adaptés aux exigences de fabricabilité, d'assemblage, d'entretien et de traçabilité des différents modèles de vélos à suspension arrière/tout-suspendus.

L'objectif central n'est pas de maximiser un indicateur isolé, mais de trouver un équilibre d'ingénierie vérifiable entre :

Résistance + fatigue + stabilité du serrage + allègement + résistance à la corrosion + répétabilité de l'assemblage + maintenabilité + coût

Mots-clés

Vélo tout-suspendu · MTB · E-MTB · Boulon de pivot · Axe de pivot · Vis à épaulement · Précharge · Effort de serrage · Frein-filet · Fretting · Interface de roulement · Corrosion galvanique · Brouillard salin · Fragilisation par l’hydrogène · Grippage du titane · DVP&R · DFMEA · Cpk · TCO

Préface : d’« un boulon » à un « système de pivot »

Dans les classifications traditionnelles des achats, les boulons de pivot sont souvent regroupés parmi les fixations, la quincaillerie ou les petites pièces. Cette classification est pratique pour l’ERP et les codes d’achat, mais elle est incomplète du point de vue de l’ingénierie structurelle.

Un pivot type de vélo tout-suspendu peut comprendre simultanément :

- Alésage / insert de pivot du cadre
- Biellette
- Roulement à cartouche étanche
- Entretoise intérieure / extérieure
- Axe de pivot
- Vis à épaulement
- Rondelle
- Insert fileté / écrou
- Joint torique / joint
- Graisse
- Frein-filet / patch de blocage
- Antigrippant

Le mouvement de suspension expose simultanément ces interfaces à :

- des charges axiales et transversales cycliques ;
- des oscillations de faible amplitude ;
- des chocs ;
- des charges couplées de freinage et de pédalage ;
- une contamination par la boue et l’eau ;
- des produits de nettoyage ;
- l’humidité et le sel ;
- des démontages et remontages d’entretien répétés.

Par conséquent, « conforme dimensionnellement » prouve seulement qu’une pièce respecte le plan à un instant donné. Cela ne prouve pas automatiquement que :

- l’effort de serrage de la liaison est approprié ;
- le roulement ne subit aucune charge axiale anormale ;
- aucun craquement ne se développera après deux saisons ;
- les filetages en titane ne gripperont pas ;
- le revêtement de l’acier ne présente aucun risque de fragilisation par l’hydrogène ;
- la liaison pourra être démontée normalement lors d’un entretien en atelier ;
- le couple d’origine restera valable après un changement de revêtement.

Le livre blanc V2.0 applique donc un cadre complet de cycle de vie :

> **Exigence → conception → matériau → procédé → liaison → validation → production → assemblage → terrain → service → TCO**

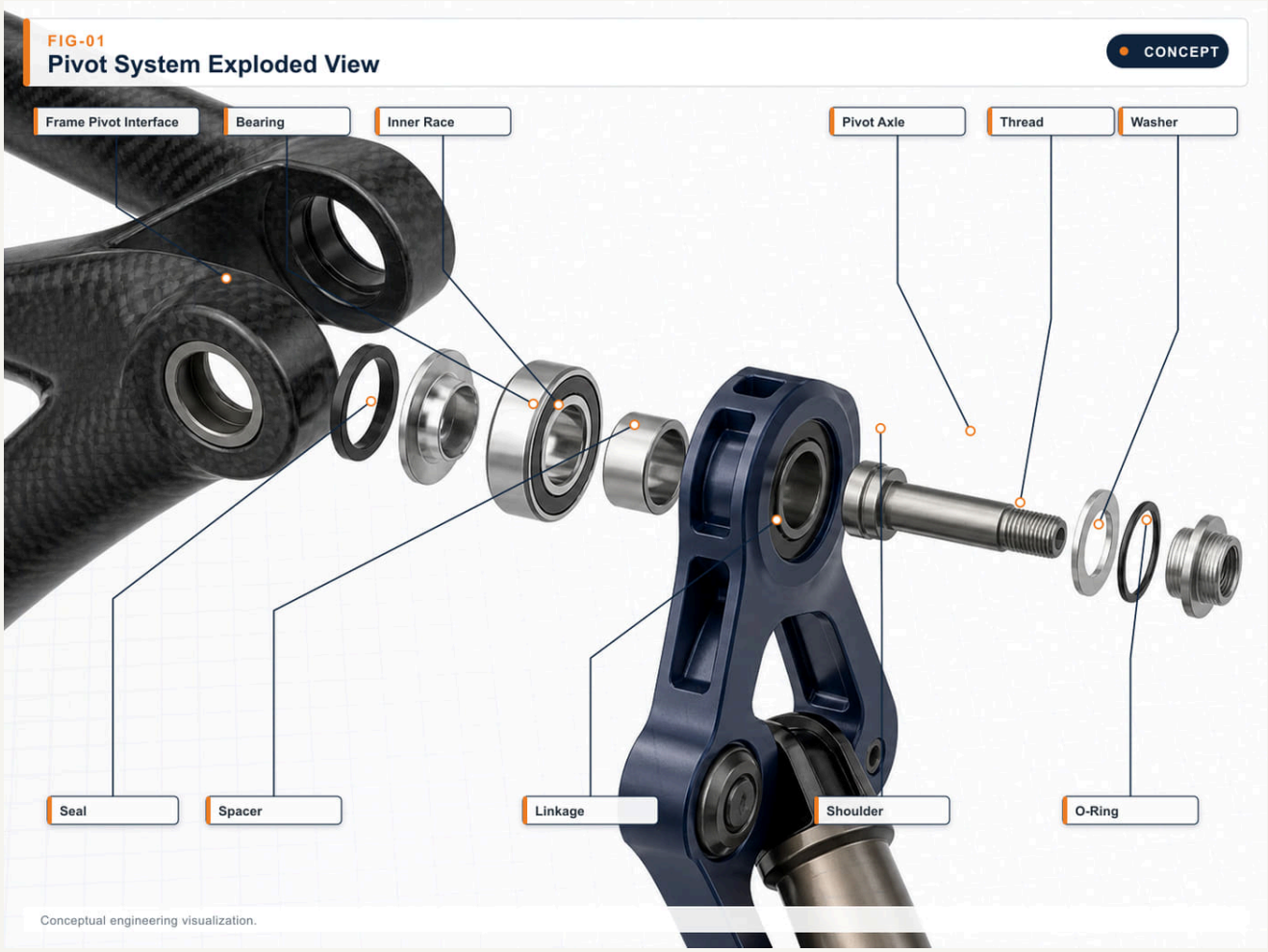
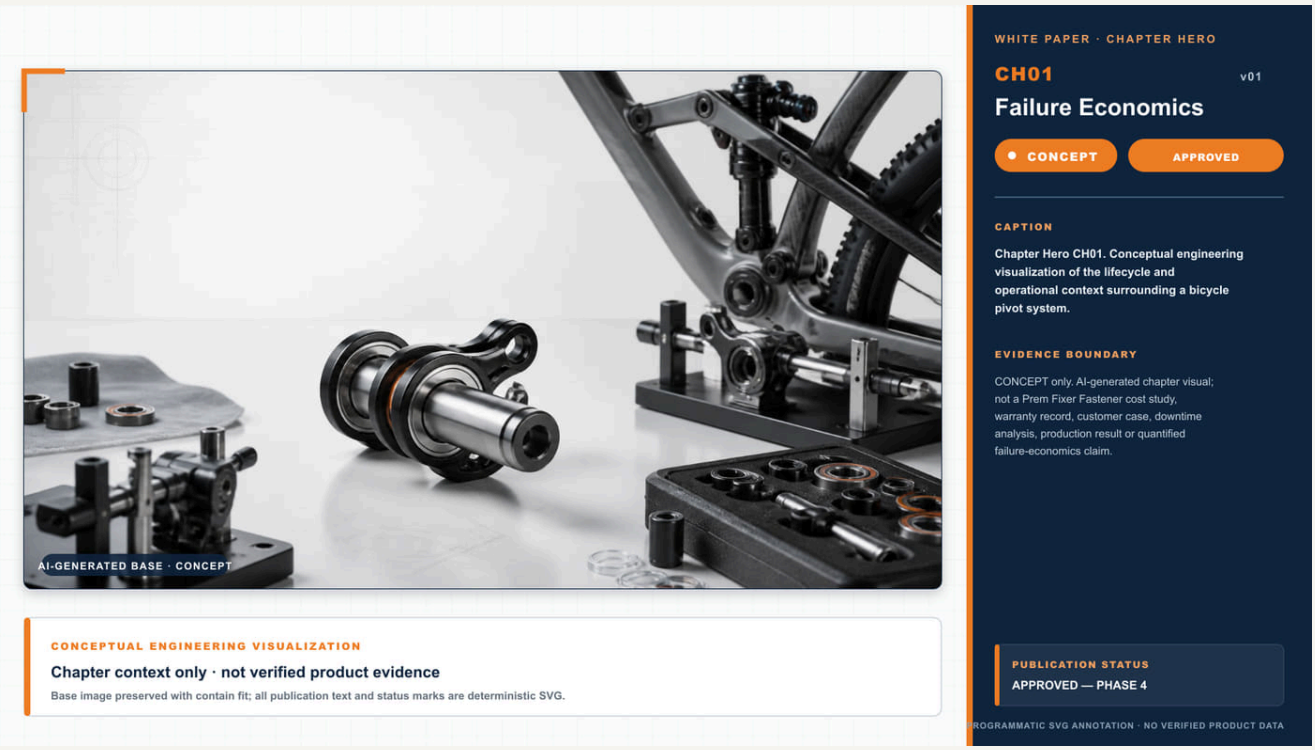


FIG-01 · Figure d'ingénierie — Figure FIG-01. Architecture éclatée d'un système de pivot. Visualisation d'ingénierie conceptuelle ; il ne s'agit ni d'une nomenclature validée ni d'une configuration produit PremFixer Fasteners vérifiée. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

Chapitre 1 : valeur du système de pivot et coût des défaillances dans l’ensemble de la chaîne industrielle

1. Valeur au niveau du système et économie des défaillances



CH01 · Visuel de chapitre — Visuel de chapitre CH01. Visualisation d’ingénierie conceptuelle du cycle de vie et du contexte opérationnel entourant un système de pivot de vélo. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d’usine, de contrôle, d’essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

1.1 Les quatre groupes de clients n’achètent pas la même valeur

1.1.1 Les fabricants de cadres achètent la stabilité des interfaces structurelles

Les fabricants de cadres s’intéressent d’abord aux points suivants :

- ajustement fonctionnel entre l’alésage de pivot et l’axe/la portée lisse ;
- chaîne de cotes du roulement, de l’entretoise et de la biellette ;
- apparition éventuelle d’une charge radiale ou axiale anormale au montage ;
- risque d’endommagement aux interfaces locales carbone/aluminium ;
- maintien des exigences fonctionnelles par les dimensions après revêtement ;
- stabilité de l’interface de pivot après l’essai de fatigue du cadre.

Du point de vue du fabricant de cadres :

> **La véritable valeur de la visserie de pivot consiste à réduire la probabilité qu'une pièce peu coûteuse transforme un cadre onéreux en rebut.**

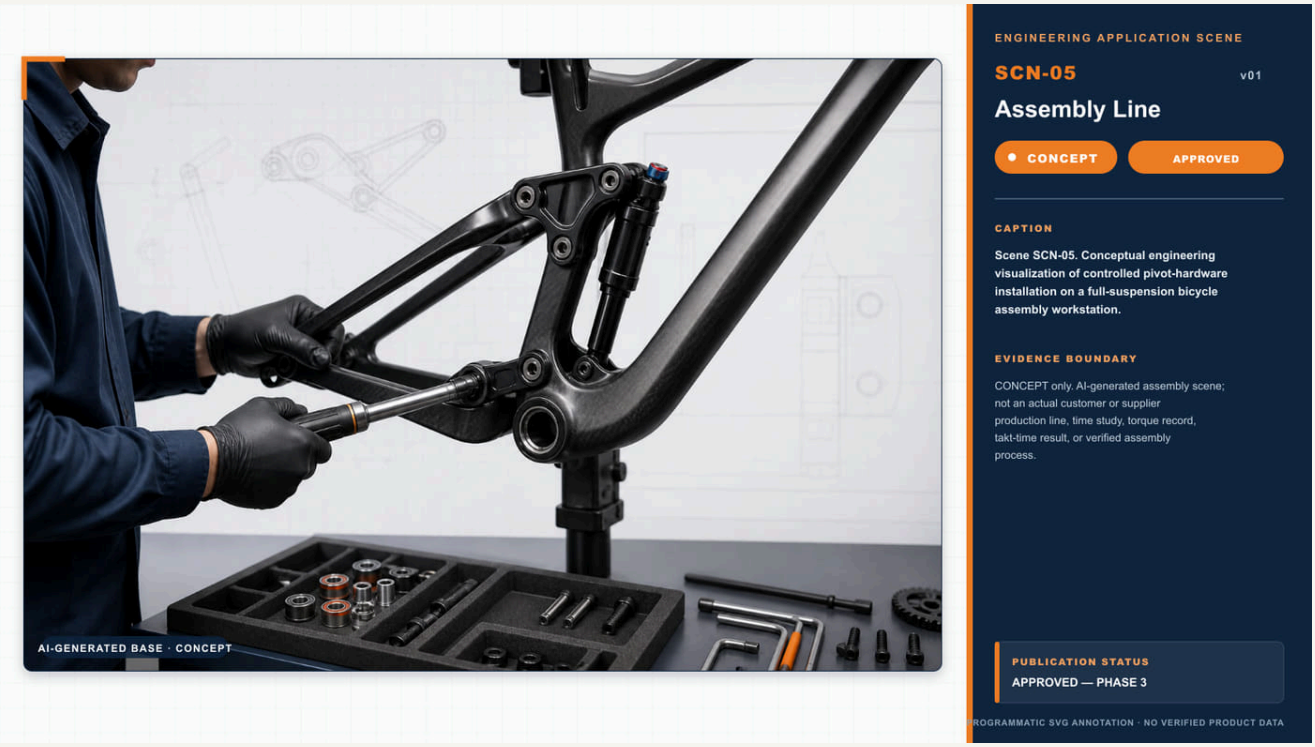
1.1.2 Les usines d'assemblage achètent la cadence et la régularité

Les usines d'assemblage s'intéressent aux points suivants :

- engagement stable de l'empreinte d'entraînement ;
- centrage automatique facile de l'outil ;
- engagement fluide du filetage ;
- nécessité éventuelle d'une prise, d'une dépose et d'un nettoyage manuels de l'adhésif ;
- risque de confusion des références ;
- stabilité du couple ;
- amélioration du rendement au premier passage.

Le frein-filet préappliqué est déjà une méthode d'assemblage industrielle éprouvée. Les informations techniques publiées par Henkel indiquent que des revêtements préappliqués secs au toucher peuvent être utilisés pour l'assemblage de boulons à grand volume afin de supprimer l'étape d'application d'un frein-filet liquide au poste.[R13][R14]

Cela étaye l'orientation d'ingénierie selon laquelle le blocage préappliqué peut améliorer la standardisation de l'assemblage, mais **ne prouve pas automatiquement une économie fixe de 1.5–2 minutes sur une ligne de vélos donnée**. Le bénéfice de cadence doit être établi par une étude de temps réelle.



SCN-05 · Scène d'application — Scène SCN-05. Visualisation d'ingénierie conceptuelle de la pose maîtrisée de visserie de pivot sur un poste d'assemblage de vélos tout-suspendus. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

1.1.3 Les marques MTB / E-MTB achètent la fiabilité et l'expérience de marque

Les marques haut de gamme s'intéressent aux points suivants :

- fluidité du mouvement de suspension ;
- absence de craquements ou claquements anormaux ;
- résistance de la visserie à l'autodesserrage ;
- fiabilité sous la pluie, dans la boue, la transpiration et le sel ;
- facilité d'entretien ;
- disponibilité à long terme des pièces de rechange ;
- traçabilité des défaillances sur le terrain.

Les informations publiques d'entretien de Santa Cruz traitent les axes de pivot et les roulements comme des éléments critiques nécessitant inspection, nettoyage, lubrification périodiques et remplacement si nécessaire, et indiquent que les conditions humides, sableuses ou poussiéreuses exigent des contrôles plus fréquents.[R9] Specialized inclut actuellement les roulements de pivot de suspension de certains modèles tout-suspendus dans une politique de remplacement à long terme pour les premiers propriétaires.[R10]

Ces pratiques publiques démontrent que :

> **Un système de pivot est un objet de service sur l'ensemble du cycle de vie, et non un composant que l'on peut ignorer définitivement après l'assemblage.**

1.1.4 Les fabricants de composants / biellettes achètent la rapidité de développement et la coordination des interfaces

Pour les fabricants de biellettes et de composants, la complexité provient de :

- différentes longueurs d'axe ;
- différents épaulements ;
- entretoises ;
- rondelles ;
- roulements ;
- joints ;
- inserts filetés ;
- pièces gauche et droite ;
- couleurs et revêtements différents.

Lorsque ces composants sont gérés par des fournisseurs distincts, le coût réel dépasse le prix unitaire :

- coordination des révisions de plans ;
- communication fournisseurs ;
- contrôle à réception ;
- MOQ ;
- stocks ;
- emballage ;
- risque de pièce manquante.

La logique d'approvisionnement de la visserie de pivot peut donc passer de l'achat de pièces isolées à :

> **Un système de pivot / une nomenclature maîtrisée / une chaîne de traçabilité**

1.2 La défaillance présente souvent un « effet d'amplification des coûts »

Lorsqu'un composant de faible valeur tombe en panne, le parcours des coûts peut être :

Défaut de pièce
→ Reprise
→ Arrêt de ligne
→ Mise en quarantaine du vélo
→ Diagnostic du revendeur
→ Visserie de remplacement
→ Fret international
→ Communication client
→ Garantie
→ Réputation de la marque

Le coût total de possession ne doit donc pas se limiter au prix d'achat de la pièce.

$$
\begin{aligned}
TCO = \\
C_{part} \\
+C_{assembly} \\
+C_{inspection} \\
+C_{inventory} \\
+C_{rework} \\
+C_{downtime} \\
+C_{warranty} \\
+C_{dealer} \\
+C_{logistics} \\
+C_{reputation}
\end{aligned}
$$

Ici, C_{reputation} est difficile à quantifier précisément, mais il représente le coût à long terme que les marques haut de gamme sont le moins disposées à supporter.

1.3 Traitement probant de l'affirmation « les pivots représentent 30–35% des cas de garantie cadre »

La V1.0 proposait une proportion globale de 30–35%. Après le premier cycle de recherche dans la littérature publique pour la V2.0, **aucune base de données statistique mondiale et publique des marques MTB, auditable et reproductible, n'a été trouvée pour étayer cette proportion fixe**.

L'édition formelle V2.0 ne présente donc plus cette proportion comme un fait sectoriel.

Il est recommandé aux marques d'établir leur propre :

Pareto des garanties liées aux pivots

Les champs doivent comprendre :

- Modèle
- Année modèle
- Position du pivot
- Mode de défaillance
- Référence de la visserie
- Référence du roulement
- Kilométrage / temps de roulage
- Environnement
- Main-d'œuvre du revendeur
- Coût de remplacement
- Fret
- Cause racine
- Action corrective

Seules des données réelles de terrain/garantie peuvent atteindre le niveau E5.

Encadré de preuves du chapitre

Preuves externes

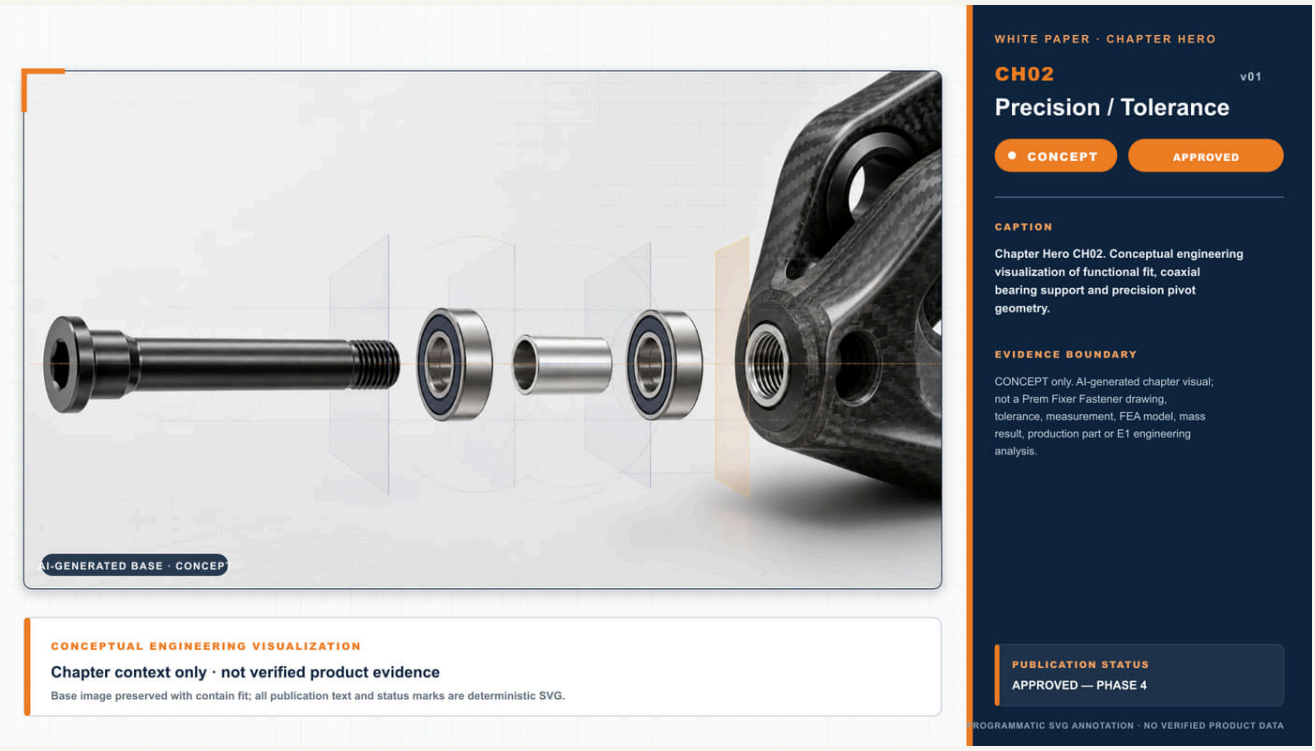
- Pratique d'entretien OEM : X3
- Politique de garantie : X3
- Pratique industrielle du blocage préappliqué : X3

Jalon de vérification PremFixer Fasteners

- Pourcentage de garantie : E0 / SUPPRIMER la statistique fixe
- Réduction du temps d'assemblage : E0 / étude de temps requise
- Économie TCO : E0-E1 / modèle client requis

Chapitre 2 : sécurité structurelle, tolérances, chemins de charge et allègement

2. Intégrité structurelle, ingénierie des tolérances et allègement



CH02 · Visuel de chapitre — Visuel de chapitre CH02. Visualisation d'ingénierie conceptuelle de l'ajustement fonctionnel, du support coaxial des roulements et de la géométrie de précision du pivot. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

2.1 Une portée lisse n'est pas un simple « diamètre non fileté », mais un ajustement fonctionnel

La portée lisse d'un axe de pivot ou d'une vis à épaulement remplit couramment les fonctions suivantes :

- positionnement ;
- support de la bague intérieure du roulement ;
- transfert de la charge de cisaillement ;
- maintien de la coaxialité ;
- guidage au montage et au démontage.

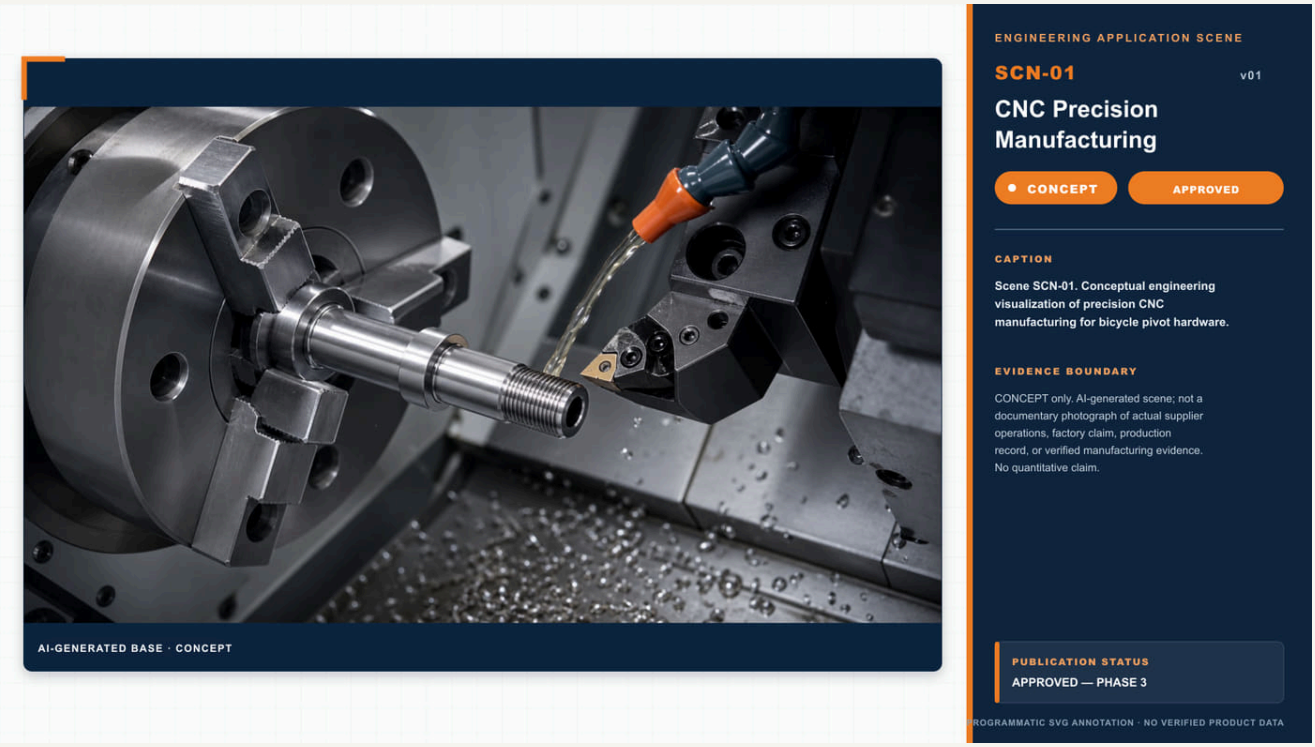
Elle se rapproche donc davantage d'une pièce d'axe de précision que d'un boulon standard ordinaire.

Les informations d'ingénierie des roulements SKF identifient le léger mouvement relatif entre un arbre/alésage et une bague de roulement comme un mécanisme important de corrosion de contact, et indiquent qu'un ajustement inadéquat, la flexion de l'arbre et les

défauts de surface peuvent favoriser ce type de dommage.[R5][R6]

Cela signifie que :

> **La tolérance de la portée lisse ne peut être étudiée indépendamment du diamètre intérieur du roulement, des entretoises, de l'effort de serrage, de l'état de surface et du revêtement.**



SCN-01 · Scène d'application — Scène SCN-01. Visualisation d'ingénierie conceptuelle de l'usinage CNC de précision de la visserie de pivot de vélo. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

2.2 ±0.008 mm ne peut pas être considéré comme la « norme du secteur pour tous les pivots »

Certaines interfaces critiques peuvent exiger des tolérances serrées, mais « ±0.008 mm » n'a de sens que lorsque tous les éléments suivants sont définis :

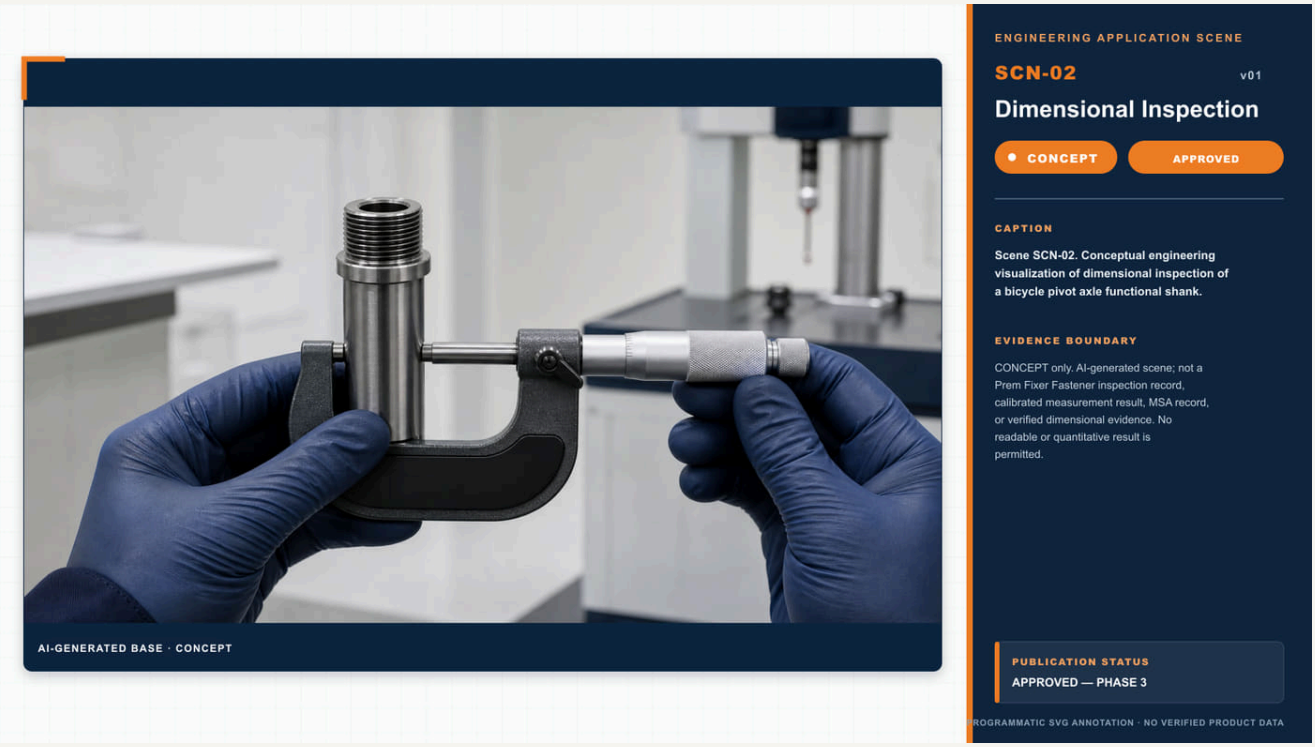
1. Diamètre nominal
2. Spécification du roulement ou de la bague
3. Tolérance de la pièce conjuguée
4. Épaisseur du revêtement
5. État de mesure final
6. Température
7. Capabilité du système de mesure
8. Exigence d'assemblage/service

La V2.0 recommande donc la formulation suivante :

> [PF-VERIFY] **Pour les caractéristiques critiques de portée fonctionnelle d'un SKU phare sélectionné, utiliser la tolérance du plan client comme référence et valider la capabilité réelle de production en série au moyen d'une MSA + des données dimensionnelles avec n≥30 + le Cpk.**

Et non :

> « Chaque boulon de pivot est strictement tenu à ±0.008 mm. »



SCN-02 · Scène d'application — Scène SCN-02. Visualisation d'ingénierie conceptuelle du contrôle dimensionnel de la portée fonctionnelle d'un axe de pivot de vélo. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

2.3 Chaîne de cotes : des dimensions locales conformes ne garantissent pas un système conforme

La fonction axiale ou radiale d'un système de pivot est généralement déterminée conjointement par plusieurs dimensions.

Sous forme simplifiée :

$$T_{system}=f(T_{shank},T_{bearing},T_{spacer},T_{frame},T_{coating},T_{assembly})$$

La revue doit considérer tous les éléments suivants :

- chaîne de cotes au pire des cas ;
- chaîne de cotes statistique ;
- accumulation du revêtement ;
- jeu interne du roulement ;
- parallélisme de l’entretoise ;
- largeur de la biellette ;
- épaisseur de la rondelle ;
- longueur de l’épaulement.

Si l’entretoise est trop courte, le couple de montage peut se transformer en charge latérale sur le roulement ;
si l’épaulement est trop long, la liaison peut ne pas produire l’effort de serrage prévu.

La bonne question n’est donc pas :

> « Chaque dimension de pièce est-elle conforme ? »

Mais :

> **« Le chemin de charge de l’ensemble monté se ferme-t-il correctement ? »**

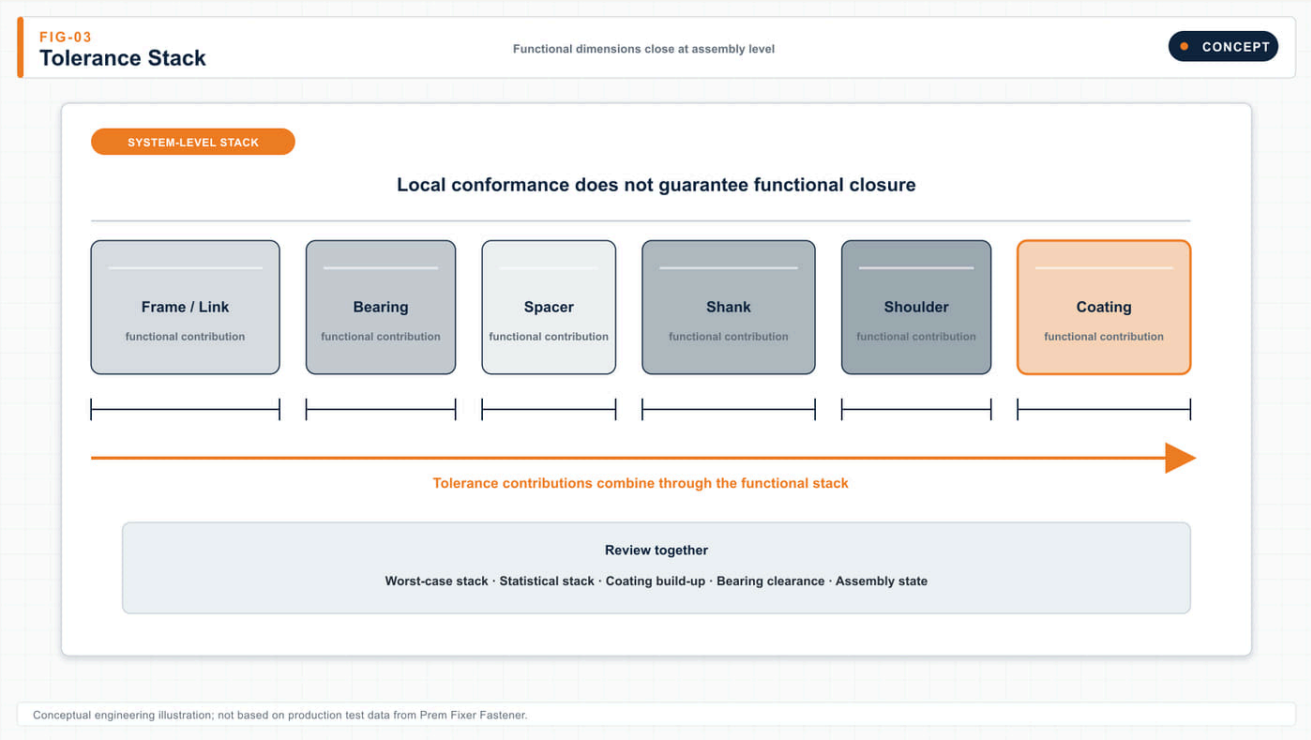


FIG-03 · Figure d'ingénierie — Figure FIG-03. Contributions à la chaîne de cotes système du cadre/de la biellette, du roulement, de l'entretoise, de la portée, de l'épaulement et du revêtement. Illustration d'ingénierie conceptuelle ; aucune dimension de production n'est présentée. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

2.4 L'accumulation du revêtement doit être intégrée à la conception dimensionnelle

Les systèmes de surface tels que l'anodisation, l'anodisation dure, le dépôt électrolytique, le Zn-Ni, les lamelles de zinc et le PVD influencent :

- les dimensions finales ;
- la rugosité de surface ;
- l'ajustement du filetage ;
- le frottement ;
- l'effort de serrage ;
- le couple de démontage.

Le processus de conception doit donc être :

Dimension fonctionnelle finale
→ Fenêtre d'épaisseur du revêtement
→ Cible d'usinage
→ Revêtement
→ Contrôle final

Et non :

Usinage à la cote finale
→ Revêtement

→ **Espérer que la pièce s'ajuste encore**

FIG-04 · Figure d'ingénierie — Figure FIG-04. Accumulation du revêtement et dimension fonctionnelle finale. Visualisation d'ingénierie conceptuelle ; aucune épaisseur de revêtement ni capabilité de production n'est sous-entendue. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

2.5 GD&T : la coaxialité et la géométrie des surfaces d'appui ne peuvent être ignorées

Les recherches sur les assemblages boulonnés montrent que des surfaces d'appui non parallèles influencent le serrage et le comportement de la précharge.[R4]

Les points recommandés pour la revue de la visserie de pivot comprennent :

- axe de la portée fonctionnelle ;
- face d'appui de la tête ;
- face de l'épaulement ;
- axe du filetage ;
- faces des entretoises ;
- siège de la biellette.

Les CTQ critiques peuvent inclure :

- perpendicularité ;
- battement ;
- position ;
- planéité ;
- parallélisme.

L'objectif n'est pas de « compliquer le plan », mais d'exprimer dans un langage d'ingénierie mesurable les relations géométriques qui influencent réellement le chemin de charge.

2.6 Chemin de charge et FEA : au-delà de la carte de contrainte maximale

Une FEA efficace du pivot doit définir :

- géométrie du cadre/de la biellette ;
- définition des contacts ;
- représentation des roulements ;
- précontrainte du boulon ;
- frottement ;
- conditions aux limites ;
- direction des charges ;
- cas de choc/freinage/pédalage ;
- matériau ;
- convergence du maillage ;
- contrainte locale au congé ;
- risque à la sortie de filetage.

Une étude de 2022 sur un cadre de vélo de descente tout-suspendu a examiné les charges symétriques/asymétriques, les points de défaillance et les améliorations structurelles, démontrant que les charges réelles d'un cadre de vélo ne peuvent être résumées par une seule condition statique idéalisée.[R7]

La V2.0 ne présente donc plus « 15 kN » comme charge standard universelle de pivot.

Formulation correcte :

> [MODEL] **Dans les cas de charge équivalents définis par le client, comparer les contraintes, déplacements et marges de sécurité de la structure de référence et de la structure optimisée ; la durée de vie finale du système doit encore être confirmée par une validation au niveau de la liaison/du cadre.**

2.7 Congés, sortie de filetage et concentration de contraintes

Les zones à risque courantes de la visserie de pivot comprennent :

- transition tête-portée ;
- gradin d’épaulement ;
- terminaison d’alésage creux ;
- sortie de filetage ;
- petite section près de l’empreinte d’entraînement.

Les mesures d’optimisation comprennent :

- un rayon de congé adapté ;
- l’évitement des gradins brusques ;
- le déplacement du plan de cisaillement principal hors de la zone filetée ;
- l’optimisation de la terminaison de l’alésage creux ;
- la maîtrise des marques d’usinage.

Tout chiffre tel que « réduction de contrainte de 22% » doit être lié à :

- géométrie de référence ;
- géométrie optimisée ;
- charge ;
- maillage ;
- matériau ;
- rapport FEA.

À défaut, il demeure seulement une [TARGET].

2.8 Roulage des filetages et fatigue : un fondement scientifique, sans extrapolation excessive

Une étude de 2025 a comparé des éprouvettes filetées M12 coupées, roulées et roulées en profondeur, en 42CrMo4+QT. Dans ses conditions d’essai particulières, elle a signalé une résistance à la fatigue supérieure des filetages roulés et a mis les résultats en relation avec les contraintes résiduelles, l’état de surface et la dureté.[R3]

Ce résultat publié étaye la conclusion suivante :

> **La méthode de fabrication du filetage peut influencer de manière significative la tenue en fatigue.**

Il ne peut pas être directement reformulé ainsi :

> « Les filetages roulés PremFixer Fasteners améliorent la fatigue de XX%. »

Pour établir cette allégation, PremFixer Fasteners devrait réaliser :

- définition exacte du matériau ;

- définition du traitement thermique ;
- géométrie exacte du filetage ;
- éprouvettes coupées et roulées ;
- caractérisation de la surface/des contraintes résiduelles lorsque possible ;
- essais de fatigue ;
- analyse du lieu de rupture.

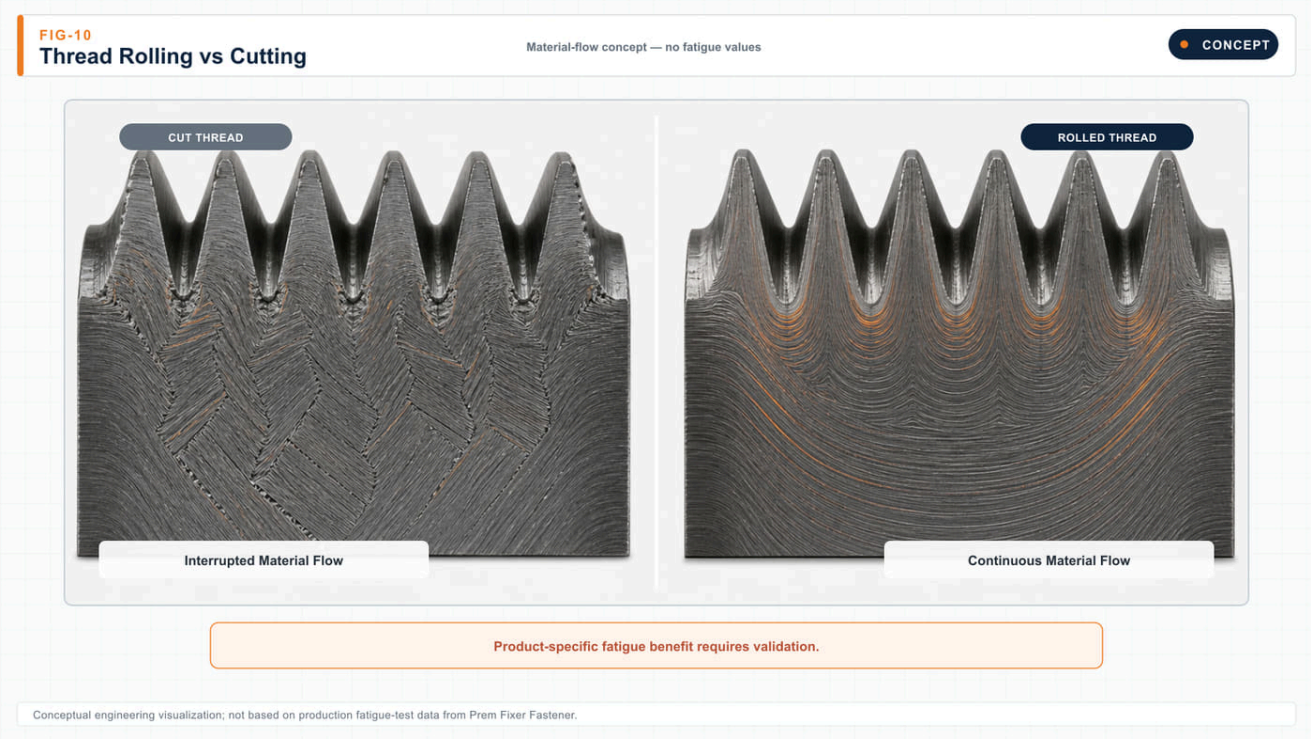


FIG-10 · Figure d'ingénierie — Figure FIG-10. Comparaison conceptuelle entre le flux de matière interrompu d'un filetage coupé et le flux continu d'un filetage roulé. Le bénéfice de fatigue propre au produit doit être validé. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

2.9 Économie de masse : l'allègement ne consiste pas seulement à « évider »

L'allègement crée de la valeur par :

- la compétition sur le poids du vélo complet ;
- les fiches techniques produit ;
- la différenciation des modèles haut de gamme ;
- l'argumentaire marketing ;
- la perception du pilote ;
- l'intégration des composants.

La limite d'ingénierie est :

$$\text{Minimum Mass}$$
$$\quad \text{subject to} \quad$$

$$\text{Strength, Fatigue, Clamp, Service, Corrosion Constraints}$$

Une conception à alésage creux doit être vérifiée quant à :

- l'épaisseur de paroi restante ;
- le cisaillement ;
- la traction ;
- la fatigue ;
- le flambement/la stabilité locale ;
- la capacité de couple de l'empreinte ;
- la variation de fabrication ;
- la réserve face à la corrosion.

Exemple mathématique corrigé

Si la nomenclature de pivot de référence est de 180 g et la nomenclature optimisée de 95 g :

$$\frac{180-95}{180}=47.2\%$$

Cela ne doit pas être présenté comme une « réduction de masse de 35% ».

Pour revendiquer 35% :

$$180\times(1-0.35)=117g$$

La V2.0 exige que chaque pourcentage public fasse l'objet d'une double revue mathématique et probante.

Encadré de preuves du chapitre

Externe

- Mécanisme de fretting des roulements : [R5][R6]
- Influence des surfaces d'appui non parallèles : [R4]
- Recherche sur le chargement des cadres tout-suspendus : [R7]
- Recherche sur la fatigue et la fabrication des filetages : [R3]

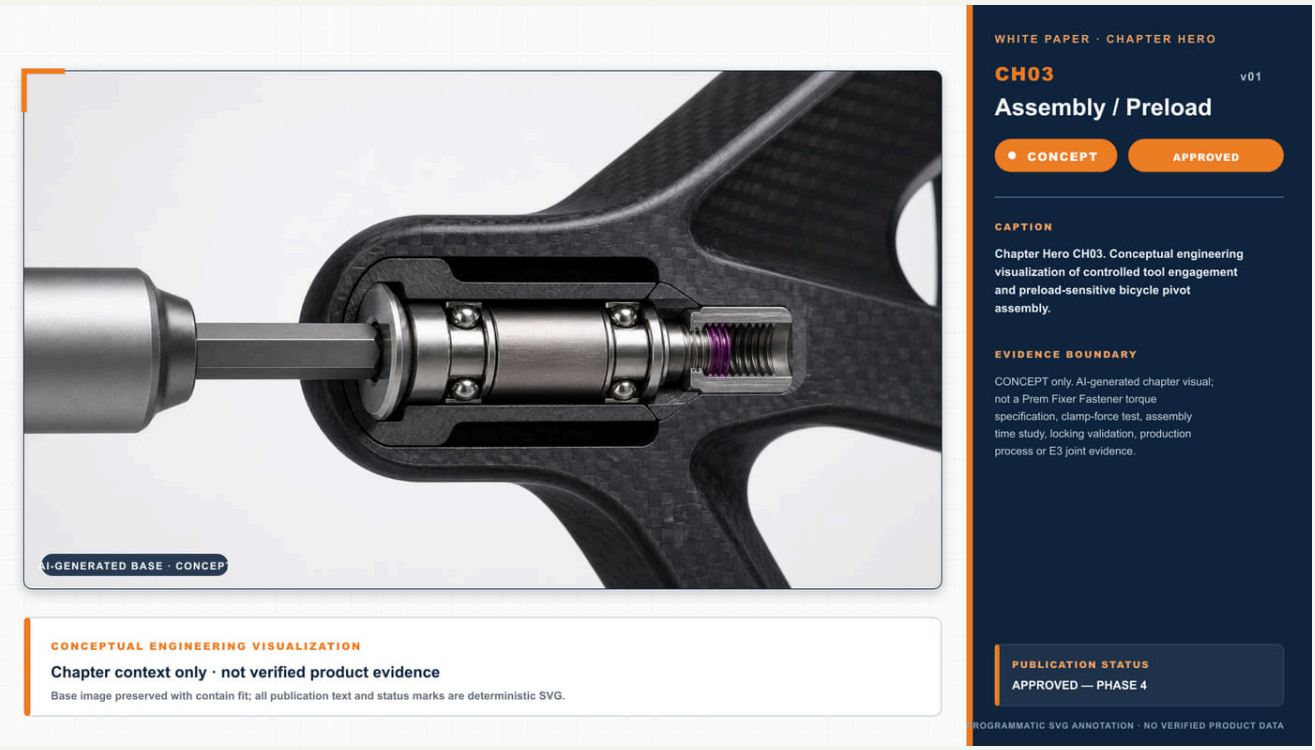
PremFixer Fasteners

- Capabilité de la portée : PF-PIVOT-C02-001 / E0 → MSA + Cpk
- Accumulation du revêtement : C02-003 / E0 → mesures appariées
- Amélioration quantitative FEA : C02-006 / E0-E1
- Réduction de masse : C02-007/008 / E0 → masse réelle de la nomenclature
- Bénéfice de fatigue du roulage : C08-007 / E0 → données de fatigue propres

---

Chapitre 3 : efficacité d’assemblage, comportement couple–effort de serrage et prévention dynamique du desserrage

3. Efficacité d’assemblage, maîtrise de la précharge et prévention du desserrage



CH03 · Visuel de chapitre — Visuel de chapitre CH03. Visualisation d’ingénierie conceptuelle de l’engagement maîtrisé de l’outil et de l’assemblage d’un pivot de vélo sensible à la précharge. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d’usine, de contrôle, d’essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

3.1 Réalité d’ingénierie : le couple n’est qu’une donnée d’entrée du procédé

Dans un assemblage fileté, la fonction première du couple de montage est d’établir l’effort de serrage.

Une relation simplifiée est :

$$T=KFd$$

où :

- T : couple ;
- F : effort de serrage/précharge ;
- d : diamètre nominal ;
- K : effet combiné du frottement.

Mais K n’est pas une constante fixe du matériau.

Il est influencé par :

- le frottement du filetage ;
- le frottement sous tête/de la surface d’appui ;
- le revêtement ;
- le lubrifiant ;
- le frein-filet ;
- la rugosité de surface ;
- les serrages répétés ;
- le matériau conjugué ;
- la vitesse de montage.

Les recherches de Croccolo et al. sur la relation couple–précharge soulignent l’importance des coefficients de frottement dans l’établissement de la précharge.[R2] L’ISO 16047 fournit un cadre normalisé pour tester le comportement couple/effort de serrage des fixations filetées.[R17]

Par conséquent :

> **« 10 N·m » n’est pas une performance de liaison ; c’est fondamentalement une instruction de procédé dépendante du frottement.**

3.2 Fenêtre optimale de serrage

Sous-serrage

Conséquences possibles :

- micro-glissement de la liaison ;
- autodesserrage ;
- fretting ;
- craquement ;
- mouvement de la bague de roulement ;
- usure de l’alésage.

Serrage excessif

Conséquences possibles :

- traînée du roulement ;
- compression de l’entretoise ;
- surcharge locale du carbone/de l’insert ;
- arrachement du filetage ;
- plastification de la fixation ;

- démontage difficile.

Cible

Le véritable objectif consiste à établir :

> **Couple → distribution de l'effort de serrage → fenêtre fonctionnelle de la liaison**

Il ne s'agit pas de poursuivre l'idée selon laquelle « plus de couple est toujours plus sûr ».

Les recherches publiées montrent qu'une précharge insuffisante et une précharge excessive définissent des domaines de risque distincts pour le desserrage, la surcharge et la fatigue.[R1]

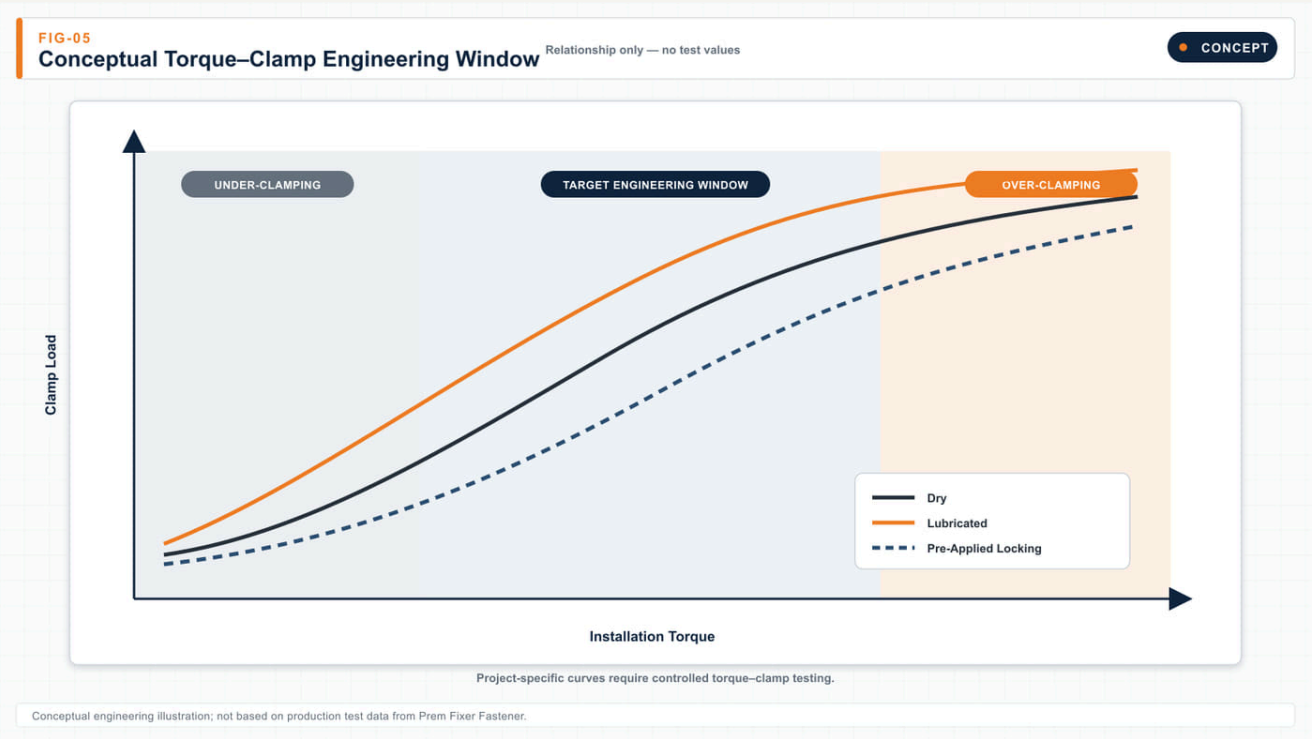


FIG-05 · Figure d'ingénierie — Figure FIG-05. Fenêtre conceptuelle d'ingénierie couple–effort de serrage. Relation uniquement ; aucune série mesurée, valeur de couple ou résultat d'effort de serrage n'est présenté. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

3.3 Tout changement de revêtement ou de lubrification doit déclencher une revalidation du couple

Si la chaîne d'approvisionnement passe de :

- Zn → Zn-Ni ;
- sec → lubrifié ;
- sans patch → patch préappliqué ;
- titane sec → antigrippant ;

- une surface de rondelle à une autre ;
- un insert femelle à un autre ;

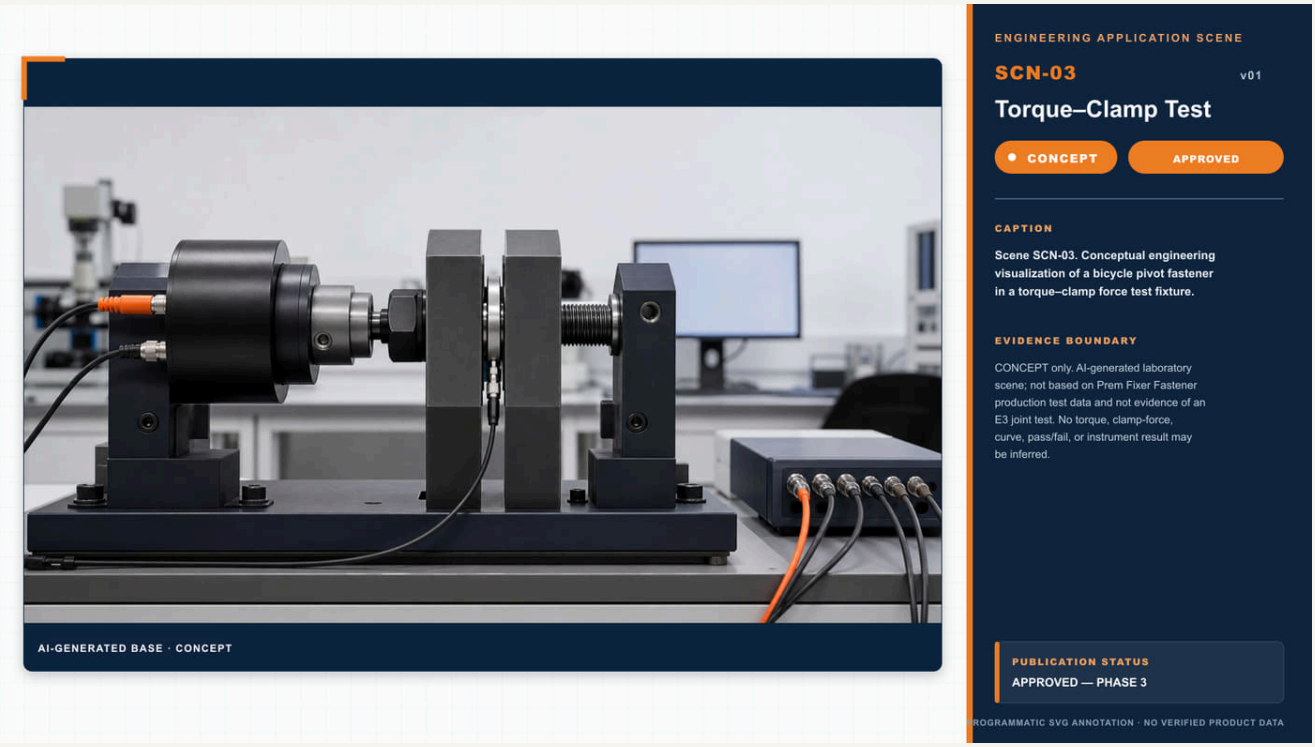
le couple existant ne doit pas être reconduit automatiquement.

La V2.0 recommande d'établir un :

Essai de validation couple–effort de serrage

Rapporter au minimum :

- effort de serrage moyen ;
- minimum/maximum ;
- dispersion ;
- courbe de couple ;
- couple de démontage ;
- mode de défaillance.



SCN-03 · Scène d'application — Scène SCN-03. Visualisation d'ingénierie conceptuelle d'une fixation de pivot de vélo placée dans un montage d'essai couple–effort de serrage. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

3.4 Géométrie d'entraînement : une interface d'assemblage, pas un style

La performance d'une empreinte interne à six lobes ou hexagonale dépend de :

- sa profondeur ;
- sa conicité ;

- la géométrie des angles ;
- sa concentricité ;
- les bavures ;
- la dureté ;
- l'engagement de l'outil.

Validation recommandée :

Couple d'entraînement jusqu'à rupture

Comparer :

- embout neuf ;
- embout usé ;
- couple nominal ;
- marge de surcouple ;
- léger désalignement.

Un « taux de détérioration ≤0.05% » ne peut devenir une allégation fixe sans source.

Pour le conserver :

> [PF-VERIFY] **Le démontrer par des données PPM réelles d'assemblage.**

3.5 Frein-filet préappliqué : du produit chimique à l'interface de procédé

Les informations publiées par Henkel montrent qu'un frein-filet préappliqué sec au toucher peut être déposé avant que le boulon n'atteigne la ligne d'assemblage, réduisant les étapes de dosage supplémentaires au poste ; certains produits microencapsulés libèrent leurs composants actifs sous l'action mécanique lors du montage.[R13][R14]

Sa valeur peut être répartie en :

Valeur pour le procédé

- Moins de manipulations de liquide
- Quantité d'adhésif standardisée
- Moins d'oublis d'application
- Moins de contamination par excès d'adhésif
- Meilleure compatibilité avec l'automatisation

Valeur pour la liaison

- Comportement de blocage
- Un certain degré d'étanchéité
- Un état de frottement modifié

L’adhésif préappliqué ne consiste donc pas simplement à :

> « Appliquer une couche d’adhésif bleu pour le client. »

Il s’agit de :

> **Un procédé maîtrisé qui doit être intégré à la validation couple–effort de serrage, au contrôle de la durée de stockage, à la définition de la longueur d’application et aux règles de réutilisation.**

3.6 « Économiser 1.5–2 minutes par vélo » doit être déterminé par une étude de temps

Les informations techniques publiées peuvent démontrer que :

> Les produits préappliqués peuvent supprimer une étape distincte d’application d’adhésif au poste.[R13]

Les économies réelles de cadence dépendent cependant de :

- la quantité de fixations traitées par vélo ;
- l’implantation de la ligne ;
- l’emplacement du flacon/du doseur ;
- les mouvements de l’opérateur ;
- le contrôle ;
- l’essuyage/le nettoyage ;
- les reprises.

La formulation officielle V2.0 est donc :

> [PF-VERIFY] **PremFixer Fasteners établira les bénéfices réels de cadence par une étude au même poste comparant l’application liquide manuelle au blocage préappliqué.**

3.7 Charge transversale et autodesserrage dynamique

Les recherches sur l’autodesserrage des fixations filetées s’intéressent depuis longtemps aux charges transversales cycliques. Les travaux expérimentaux de Yang et al. identifient la précharge comme une variable importante du desserrage et de la fatigue et mettent en évidence une relation significative entre charge transversale et défaillance par desserrage.[R1]

Le domaine officiel de l'ISO 16130:2015 est l'essai dynamique du comportement de blocage de fixations de la série aérospatiale sous charge transversale, principalement pour les travaux de développement.[R18]

L'emploi correct en V2.0 est donc :

> **S'inspirer de son concept d'essai comparatif en vibration transversale et établir un montage, un déplacement, une fréquence, un serrage initial et des critères d'acceptation propres au projet vélo.**

Ne pas déclarer :

> « Le boulon de pivot de vélo est certifié ISO 16130. »

3.8 3000 cycles / ≤5% n'est plus présenté comme une conclusion sectorielle fixe

PremFixer Fasteners peut choisir à l'avenir les cibles internes suivantes :

- 3000 cycles ;
- effort de serrage résiduel ≥95%.

Mais ces cibles doivent être reliées à :

- la fixation ;
- la liaison ;
- l'effort de serrage initial ;
- le déplacement ;
- la fréquence ;
- le revêtement ;
- le frein-filet ;
- le montage ;
- la taille d'échantillon.

Le format de publication final doit être :

> « Dans les conditions définies de l'essai en vibration transversale, la variante B a conservé X% de l'effort de serrage initial après N cycles, contre Y% pour la variante de référence A. »

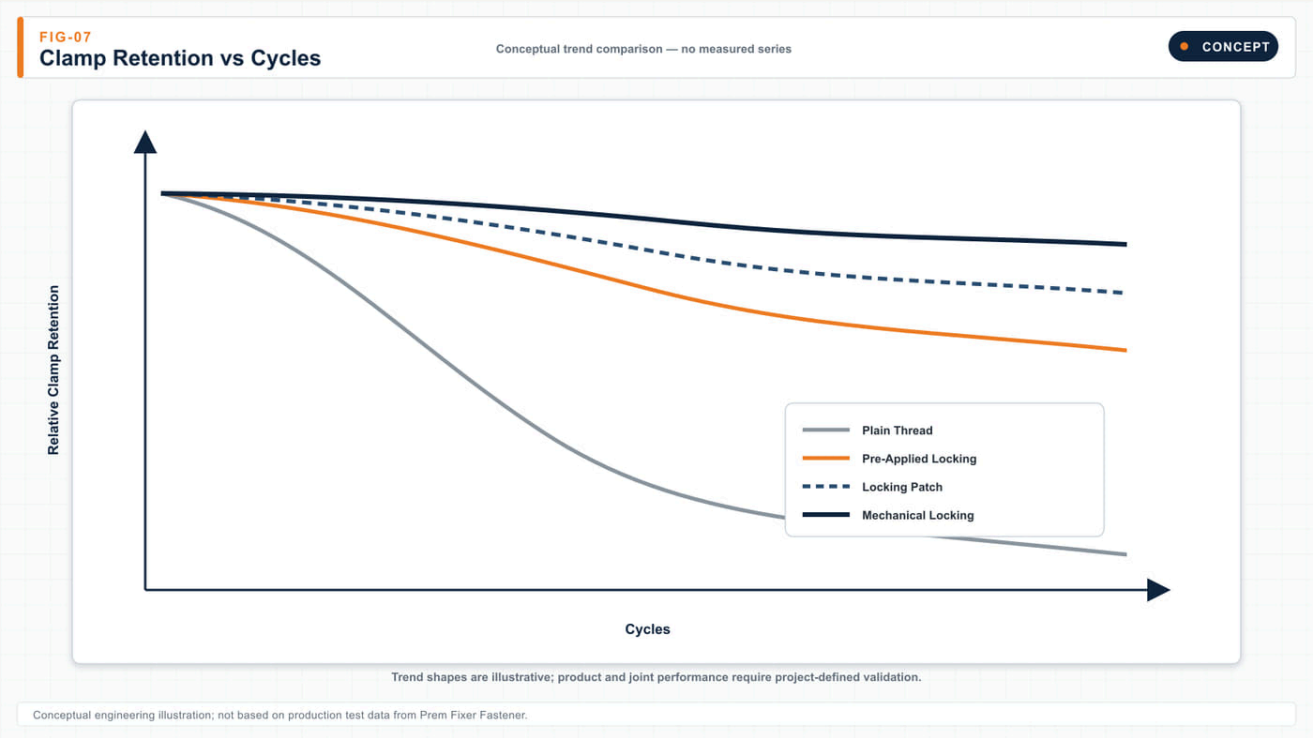


FIG-07 · Figure d'ingénierie — Figure FIG-07. Comparaison conceptuelle des tendances de maintien du serrage. Les courbes sont illustratives et ne contiennent aucun nombre de cycles mesuré, résultat de maintien ou allégation produit. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

3.9 Assemblages répétés : le premier cycle de couple ne représente pas le huitième

Les recherches publiées sur les serrages répétés montrent que les coefficients de frottement évoluent au fil des cycles d'assemblage. [R15]

Une affirmation « supporte 5–8 cycles de démontage/remontage » doit donc définir :

- la technologie de blocage ;
- le nombre de cycles ;
- le couple de montage ;
- le couple de desserrage initial ;
- le couple résiduel ;
- l'état du filetage ;
- l'usure du revêtement ;
- l'acceptation fonctionnelle.

Pour les MTB fréquemment entretenus, la comparaison minimale recommandée est :

Comparaison des cycles 1 / 3 / 5 / 8

Le nombre final de cycles doit être fixé par les exigences du projet, non par un slogan marketing.

3.10 Pratique d’ingénierie OEM : un cadre n’utilise pas « un seul adhésif et un seul couple »

Le schéma public de visserie du Pivot Cycles Mach 429 SL V3 montre que différentes positions de visserie emploient différentes combinaisons de :

- graisse ;
- frein-filet ;
- graisse sur la tige du boulon + frein-filet sur les filets ;
- antigrippant ;
- produit de retenue ;
- valeurs de couple.

Par exemple, le schéma public applique des couples et traitements d’interface différents à la visserie M8 de la biellette supérieure/de l’amortisseur et à la visserie M14 de la biellette inférieure.[R8]

Cette pratique industrielle étaye une conclusion importante de la V2.0 :

> **Une spécification de libération de liaison doit définir ensemble le traitement de la portée, le traitement du filetage et le couple ; un plan du boulon seul est insuffisant.**

3.11 Fiche de spécification d’assemblage du pivot

La sortie recommandée pour chaque projet client est :

```
Position du pivot :
Référence de la fixation :
Révision du plan :
Roulement :
Entretoise :
Filetage femelle :
Matériau de la fixation :
Revêtement :
Lubrification de la portée :
Lubrification du filetage :
Frein-filet :
Antigrippant :
Produit de retenue :
Couple de montage :
Tolérance de couple :
Cible de serrage :
Couple de démontage :
Règle de réutilisation :
Règle de remplacement :
```

Encadré de preuves du chapitre

Externe

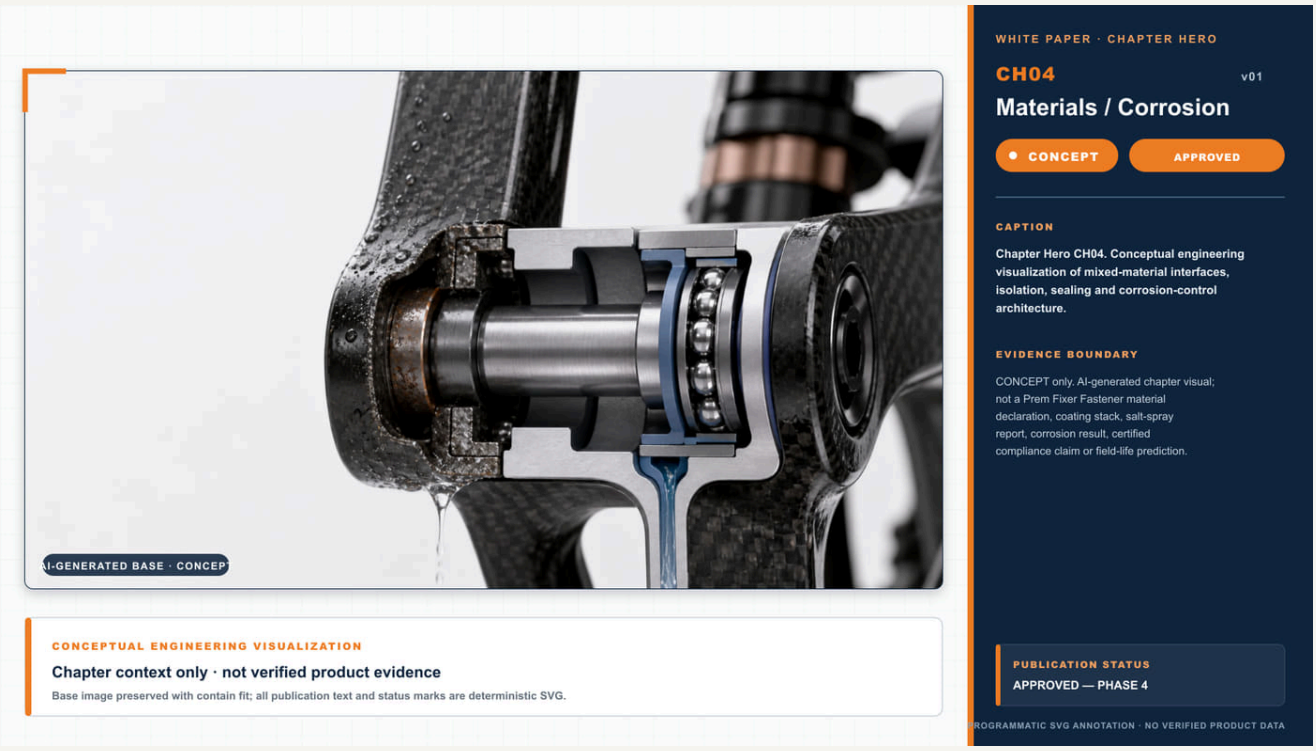
- Précharge/desserrage : [R1]
- Couple/frottement : [R2][R17]
- Serrages répétés : [R15]
- Frein-filet préappliqué : [R13][R14]
- Traitement d'assemblage OEM : [R8]
- Domaine de l'ISO 16130 : [R18]

PremFixer Fasteners

- Couple–serrage : C03-007 / E0 → T08
- Gain de cadence : C03-004 / E0 → étude de temps
- Vibration : C03-008 / E0 → T11
- Cycles de réutilisation : C03-009 / E0 → T10
- Taux de défaut de l'empreinte : C03-002 / E0 → PPM de production

Chapitre 4 : science des matériaux, ingénierie des surfaces et corrosion

4. Matériaux, ingénierie des surfaces et protection contre la corrosion



CH04 · Visuel de chapitre — Visuel de chapitre CH04. Visualisation d'ingénierie conceptuelle d'interfaces multimatériaux, de l'isolation, de l'étanchéité et d'une architecture de maîtrise de la corrosion. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

4.1 La sélection des matériaux n'est pas un « classement de résistance »

La sélection du matériau d'un pivot doit être fonction de :

f(
Strength,
Fatigue,
Density,
Corrosion,
Galling,
Coating,
Manufacturability,
Cost,

Serviceability
)

Aucun matériau n’est donc toujours optimal pour tous les types de vélos.

4.2 Aluminium 7075-T6 : valeur et limites de l’allègement

Convient à :

- applications sensibles à la masse ;
- sections plus importantes ;
- conceptions d’axes creux ;
- montages légers haut de gamme.

Points exigeant une attention particulière :

- accumulation du traitement de surface ;
- résistance du filetage ;
- fatigue ;
- pression de contact locale ;
- corrosion aux interfaces ;
- dommages en service.

La proposition de valeur correcte n’est pas :

> « C’est de l’aluminium aéronautique, donc il est forcément sûr. »

Mais :

> **Atteindre la capacité structurelle requise avec une densité plus faible, dans des conditions définies de géométrie et de validation.**

4.3 Ti-6Al-4V / Grade 5 : haut de gamme ne signifie pas sans entretien

La valeur de l’alliage de titane comprend :

- une résistance spécifique élevée ;
- la résistance à la corrosion ;
- un positionnement matériau haut de gamme.

Les recherches publiées en tribologie indiquent cependant que le titane est sensible au frottement et au grippage et que la lubrification peut influencer de manière significative le frottement et le comportement au grippage.[R12]

Par conséquent :

> **« Le titane résiste à la corrosion » ne signifie pas « les filetages en titane doivent être montés à sec ».**

La conception doit valider conjointement :

- lubrifiant/antigrippant ;
- revêtement ;
- matériau du filetage femelle ;
- vitesse de montage ;
- comportement couple–effort de serrage ;
- couple de démontage ;
- cycles répétés.

4.4 Acier allié : la fragilisation par l'hydrogène est le risque le plus souvent négligé

L'acier à haute résistance offre une excellente résistance et une bonne efficacité de section, mais le dépôt électrolytique exige une maîtrise rigoureuse de la fragilisation par l'hydrogène.

L'ISO 4042:2022 spécifie les exigences applicables aux fixations en acier à revêtement électrolytique et comprend explicitement des exigences et recommandations visant à réduire le risque de fragilisation par l'hydrogène ; l'ISO 4042:2022/Amd 1:2026 a été publiée en 2026.[R20][R21]

En outre :

- l'ISO 15330 propose une voie d'essai par précharge liée à la détection de la fragilisation par l'hydrogène.[R22]
- l'ISO/TR 20491 fournit un cadre pour les mécanismes fondamentaux de fragilisation par l'hydrogène des fixations en acier.[R23]

La libération d'un pivot en acier à haute résistance ne peut donc pas reposer uniquement sur :

> Dureté + brouillard salin.

La revue doit aussi couvrir :

- nuance d'acier ;
- UTS/dureté ;
- nettoyage/décapage ;
- procédé électrolytique ;
- délai avant étuvage, le cas échéant ;
- procédé d'étuvage, le cas échéant ;
- contrôles fournisseur ;
- traçabilité du lot ;

- méthode de détection/validation.

4.5 Acier inoxydable : préciser la nuance et la classe de qualité

L'ISO 3506-1:2020 classe les propriétés mécaniques et physiques des boulons, vis et goujons en acier inoxydable résistant à la corrosion.[R25]

Il ne suffit donc pas d'écrire :

> « Boulon de pivot en acier inoxydable »

Préciser :

- la nuance exacte ;
- la classe de qualité ;
- le filetage ;
- l'état écroui/thermique ;
- l'environnement de corrosion ;
- le comportement au grippage.

4.6 Un revêtement est un système multiobjectif, pas seulement une couleur

L'ingénierie des surfaces influence au moins :

- la corrosion ;
- le frottement ;
- l'usure ;
- l'aspect ;
- les dimensions ;
- l'ajustement du filetage ;
- le comportement couple–effort de serrage ;
- le démontage ;
- la conformité chimique.

Par exemple, l'ISO 4042 traite, pour les systèmes de revêtement électrolytique des fixations en acier, non seulement de la corrosion, mais aussi des dimensions, couches de finition, lubrifiants et du risque de fragilisation par l'hydrogène.[R20]

L'ISO 10683:2018 couvre les systèmes de revêtement non électrolytique par lamelles de zinc des fixations en acier.[R24]

4.7 Brouillard salin : un essai utile mais fréquemment mal employé

La présentation publique de l'ISO 9227 est explicite.

Les méthodes au brouillard salin peuvent servir à :

- vérifier le maintien de la qualité de protection ;
- détecter les défauts du revêtement.

Mais elles :

- ne doivent pas servir simplement à classer la résistance à long terme à la corrosion de matériaux différents ;
- ne doivent pas servir à prédire la durée de vie réelle à long terme face à la corrosion.[R19]

La formulation suivante doit donc être supprimée :

> « 200 heures de brouillard salin équivalent à deux ans de roulage. »

4.8 Nouvelles preuves de 2026 sur les essais de boulons au brouillard salin : ISO/TR 19852

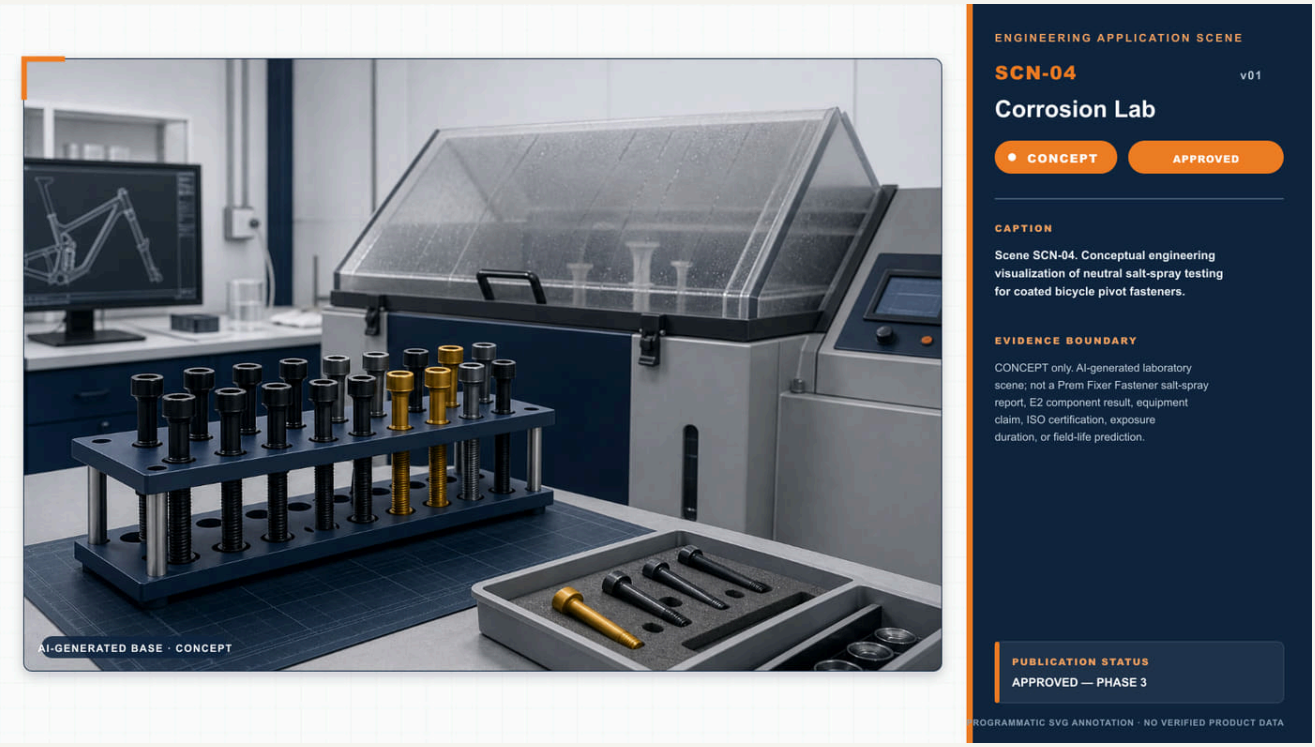
L'ISO/TR 19852:2026 documente une étude interlaboratoires de brouillard salin neutre sur des boulons revêtus M6×50. Elle consigne des phénomènes tels que voile gris, rouille blanche et rouille rouge, et s'intéresse à la reproductibilité entre laboratoires.[R26]

Sa portée pour ce livre blanc est la suivante :

> **Un rapport de brouillard salin exige lui aussi des « preuves de qualité de l'essai ».**

Les futurs dossiers de preuves de brouillard salin de PremFixer Fasteners doivent consigner :

```
Laboratoire :
Enceinte :
Matériau de base :
Revêtement :
Prétraitement :
Épaisseur :
Type d'essai :
Température :
pH / conditions de collecte :
Taille d'échantillon :
Orientation :
Intervalle de contrôle :
Critère de corrosion blanche :
Critère de corrosion rouge :
N° de rapport :
```



SCN-04 · Scène d'application — Scène SCN-04. Visualisation d'ingénierie conceptuelle d'un essai au brouillard salin neutre sur des fixations de pivot de vélo revêtues. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

4.9 Traitement noir conventionnel et revêtement haute performance : aucune durée non qualifiée

La V1.0 employait :

> Traitement noir <24 h
> Revêtement haut de gamme 96–200 h

La V2.0 le remplace par :

> **Effectuer un essai parallèle des systèmes de revêtement précis sur le même substrat, avec la même géométrie d'éprouvette et selon la même méthode ISO 9227.**

Si les résultats futurs sont :

- A = 24 h
- B = 192 h

la formulation de publication doit être :

> **« Dans cet essai précis… »**

Le résultat ne doit pas être généralisé comme une propriété matériau de tous les oxydes noirs ou de tous les revêtements PVD.

4.10 Corrosion cyclique : un outil de développement plus proche des environnements réels

L'environnement MTB n'est généralement pas un brouillard salin constant, mais :

Humide → boue → sec → lavage → sel → variation de température → vibration

Les projets haut de gamme peuvent donc envisager de définir un essai environnemental cyclique.

Le système ISO actuel comprend des méthodes d'essai de corrosion cyclique avec des phases humide/brouillard salin/sec/humide destinées à évaluer les performances des revêtements dans des conditions plus complexes.[R27]

Un projet vélo doit néanmoins définir un cycle propre à l'application selon :

- la région de roulage ;
- le sel hivernal ;
- les pratiques de lavage ;
- l'humidité ;
- l'exposition à la boue.

4.11 CFRP + aluminium : la corrosion galvanique doit entrer dans la DFM du pivot

Les recherches publiées indiquent que le CFRP et l'aluminium peuvent former un couple galvanique fort en présence d'un électrolyte, accélérant la corrosion du côté aluminium.[R11]

Ce point est particulièrement important pour les MTB haut de gamme en fibre de carbone, car une structure courante peut simultanément comprendre :

- cadre en carbone ;
- biellette/insert en aluminium ;
- visserie en titane/acier ;
- roulement en acier inoxydable.

Le risque ne provient pas du simple fait que « des matériaux différents sont ensemble » ; il exige les trois conditions suivantes :

1. Matériaux de potentiels différents
2. Connexion électriquement conductrice
3. Électrolyte

Les solutions comprennent :

- isolation électrique ;
- revêtement barrière ;
- rondelle/manchon isolant ;
- joint ;
- drainage ;
- graisse/antigrippant lorsque cela est approprié ;
- réduction de la rétention d'eau dans les interstices.

4.12 Isolation polymère : une orientation valide pour la vérification

Des recherches pertinentes sur les assemblages boulonnés composite/métal ont validé le principe d'ingénierie selon lequel une isolation polymère peut réduire le risque de couplage galvanique.[R28]

Bien que les systèmes de matériaux exacts étudiés ne correspondent pas parfaitement aux applications vélo, les preuves étayent néanmoins la conclusion suivante :

> **L'isolation électrique est une stratégie vérifiable qu'il est utile d'intégrer à la DFM du système de pivot.**

Des essais environnementaux de la combinaison de matériaux réelle PremFixer Fasteners/client restent nécessaires.

Encadré de preuves du chapitre

Externe

- Grippage du titane : [R12]
- Corrosion galvanique CFRP/aluminium : [R11]
- Isolation polymère : [R28]
- ISO 4042/fragilisation par l'hydrogène : [R20]-[R23]
- ISO 9227 : [R19]
- ISO/TR 19852 : [R26]
- ISO 10683 : [R24]
- ISO 3506-1 : [R25]

PremFixer Fasteners

- Correspondance MTC des matériaux : C04-001/002/003/004 / E0
- Brouillard salin d'un revêtement précis : C04-006 / E0 → E2
- Système Zn-Ni : C04-007 / E0
- Démontage/grippage du titane : C04-011 / E0 → E3
- Maîtrise de la fragilisation par l'hydrogène : C04-012 / E0 → preuves fournisseur/procédé

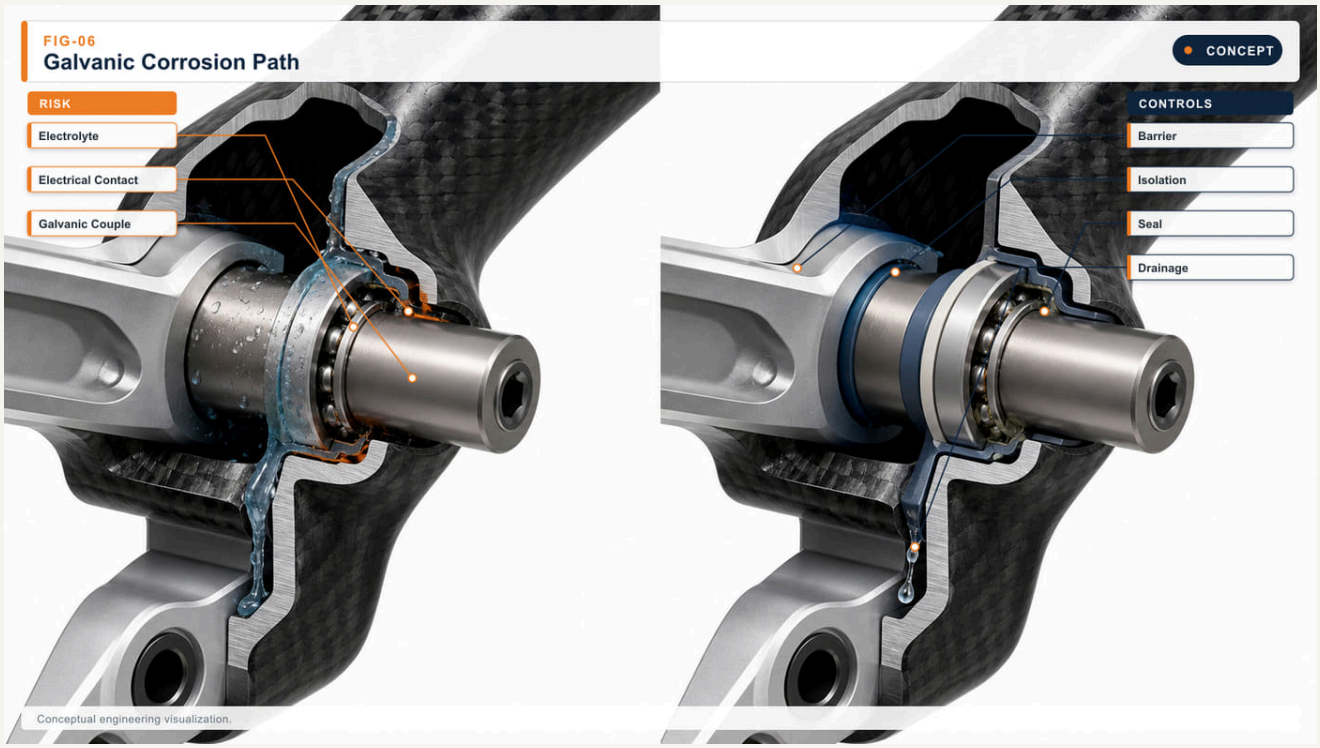
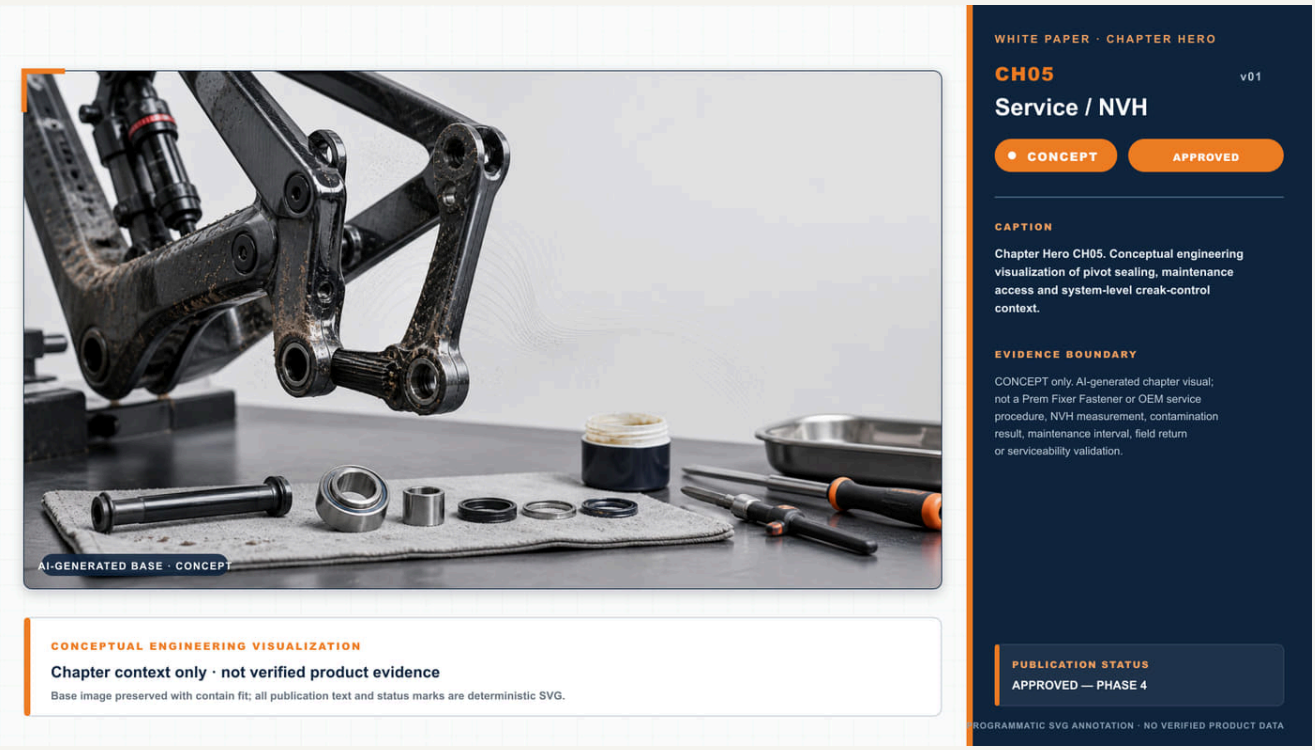


FIG-06 · Figure d'ingénierie — Figure FIG-06. Chemin de corrosion galvanique et stratégie d'isolation. Visualisation d'ingénierie conceptuelle ; aucun empilage d'alliages ni résultat de corrosion vérifié n'est sous-entendu. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

Chapitre 5 : étanchéité, contamination, NVH et maintenabilité

5. Défense contre la contamination, maîtrise des craquements et maintenabilité



CH05 · Visuel de chapitre — Visuel de chapitre CH05. Visualisation d'ingénierie conceptuelle de l'étanchéité du pivot, de l'accès de maintenance et du contexte de maîtrise des craquements au niveau du système. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

5.1 L'environnement réel du MTB n'est pas un laboratoire

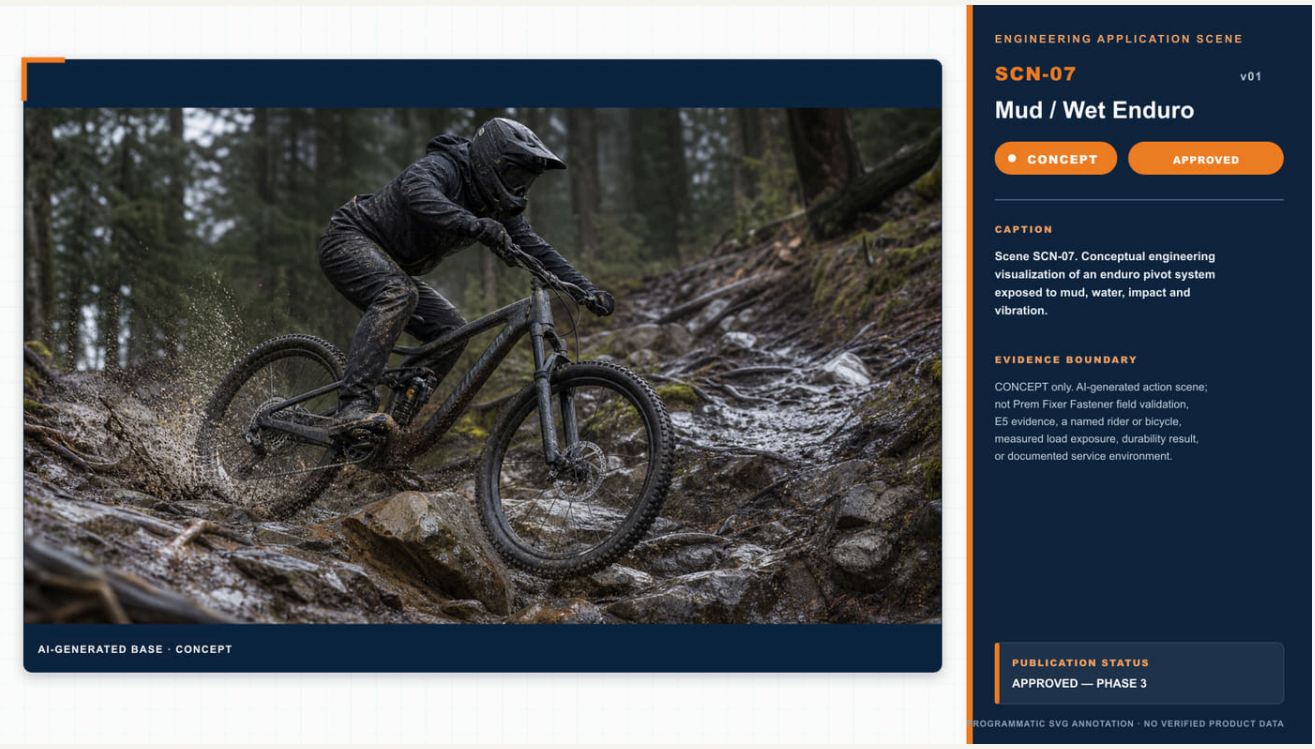
Un système de pivot fait réellement face à :

- eau ;
- boue ;
- poussière fine ;
- sable ;
- transpiration ;
- sel routier ;
- dégraissant ;
- nettoyant pour vélo ;
- lavage sous pression ;

- variation de température.

Les sources d’ingénierie des roulements indiquent que l’humidité et les micro-mouvements peuvent tous deux favoriser l’endommagement des roulements et les défaillances de type fretting.[R5][R6]

Le guide d’entretien public de Santa Cruz précise également que des conditions humides, sableuses ou poussiéreuses exigent un contrôle plus fréquent des roulements de pivot.[R9]



SCN-07 · Scène d’application — Scène SCN-07. Visualisation d’ingénierie conceptuelle d’un système de pivot enduro exposé à la boue, à l’eau, aux chocs et aux vibrations. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d’usine, de contrôle, d’essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

5.2 Défense multicouche contre la contamination

L’étanchéité doit être comprise comme une série de barrières :

Couche 1 — géométrie extérieure

Détourner l’eau et la boue

Couche 2 — joint torique / rondelle d’étanchéité

Réduire les voies directes de pénétration

Couche 3 — labyrinthe

Allonger le chemin de contamination

Couche 4 — joint de roulement

Fournir la dernière ligne de défense

Couche 5 — barrière de graisse

Assurer la lubrification et une barrière supplémentaire contre la contamination

Couche 6 — drainage

Permettre à l'eau qui ne peut être totalement exclue de s'évacuer

Principe de conception :

> **Ne pas demander à un seul joint de résoudre tous les mécanismes de contamination.**

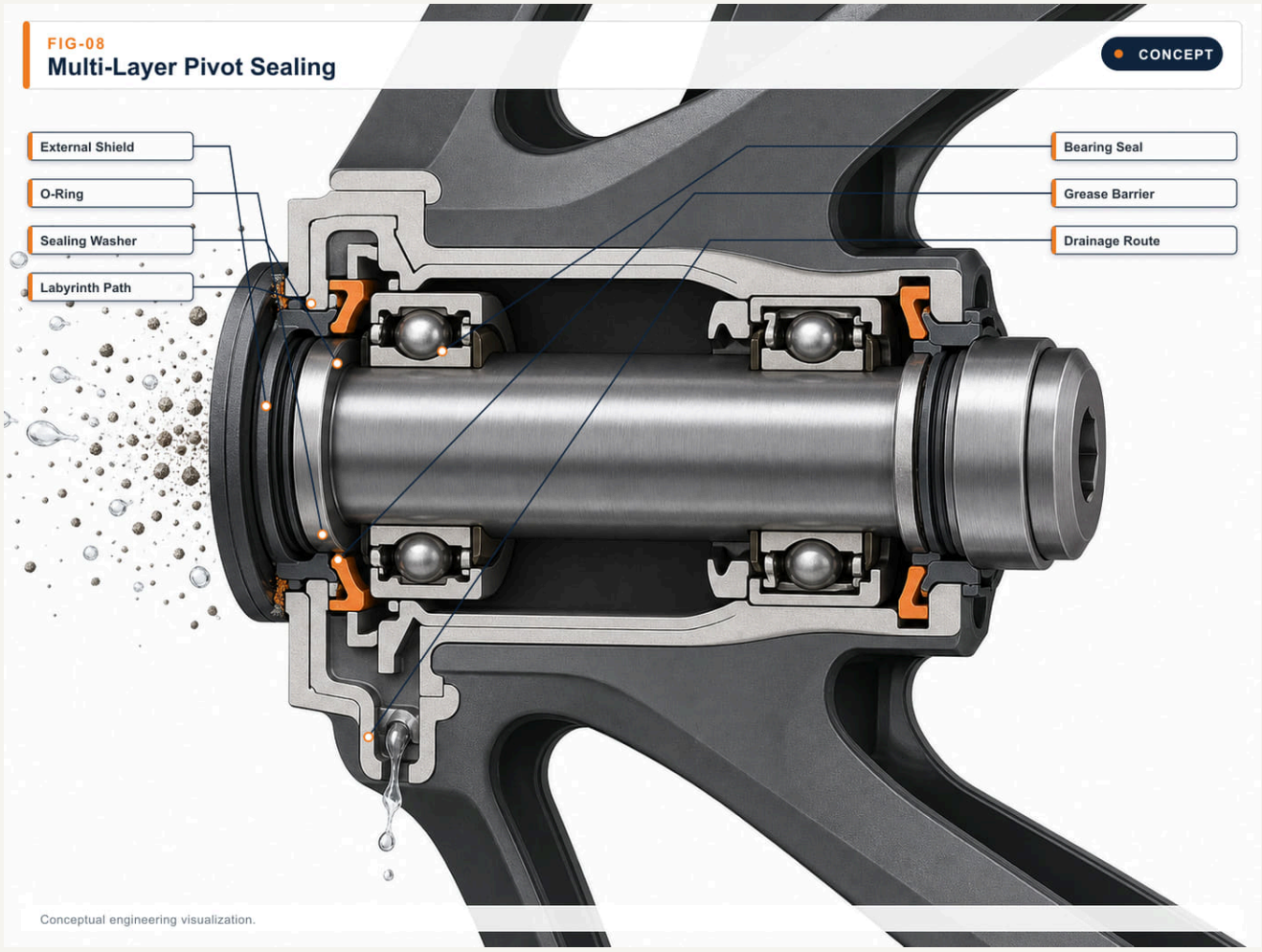


FIG-08 · Figure d'ingénierie — Figure FIG-08. Architecture d'étanchéité multicouche du pivot. Visualisation d'ingénierie conceptuelle ; elle ne constitue pas une preuve vérifiée de pénétration, de lavage ou de durée de vie. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

5.3 Lavage sous haute pression

L’eau sous haute pression peut :

- franchir une lèvre d’étanchéité ;
- diluer ou éliminer la graisse ;
- transporter du nettoyant dans l’interface ;
- accélérer la corrosion du roulement.

Un essai de développement interne peut donc être établi :

Essai de lavage / pénétration

Rapporter :

- masse/pénétration d’eau ;
- sensation du roulement ;
- corrosion ;
- état de la graisse ;
- couple de rotation.

5.4 Le craquement est un symptôme du système

Les informations publiques actuelles de Santa Cruz sur le diagnostic des craquements identifient directement les roulements sales ou usés comme une source courante de bruit anormal.[R29]

Du point de vue de l’ingénierie, un craquement de pivot peut toutefois provenir de :

- bague intérieure du roulement/axe ;
- bague extérieure du roulement/cadre ;
- entretoise ;
- face d’épaulement ;
- rondelle ;
- siège de tête du boulon ;
- filetage ;
- insert ;
- biellette ;
- interface de contact sèche.

Par conséquent :

> **Un craquement ne peut pas être simplement diagnostiqué comme « un boulon desserré ».**

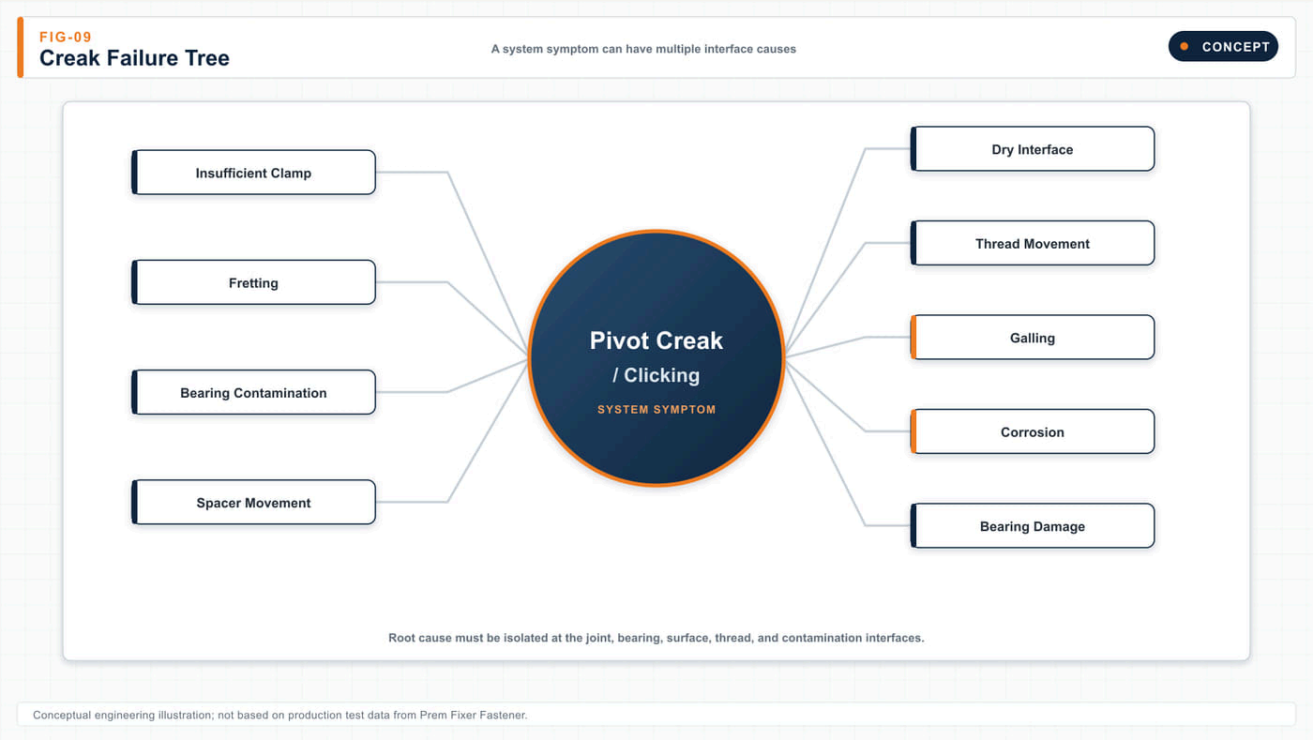


FIG-09 · Figure d'ingénierie — Figure FIG-09. Arbre conceptuel des défaillances par craquement de pivot présentant plusieurs causes d'interface possibles. Il s'agit d'un cadre de diagnostic, non d'une preuve de taux de défaillance. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

5.5 Micro-glissement et fretting

De faibles mouvements relatifs peuvent :

- rompre les films de surface ;
- produire des débris d'usure ;
- modifier le frottement de contact ;
- augmenter le jeu ;
- produire du bruit ;
- favoriser la corrosion.

Les stratégies de maîtrise comprennent :

- précharge correcte ;
- ajustement fonctionnel ;
- surfaces d'appui stables ;
- maîtrise de l'état de surface ;
- lubrification appropriée ;
- mesures antidesserrage ;
- maîtrise de la contamination.

5.6 Empilage fonctionnel roulement–axe–entretoise

Chaque conception de pivot doit répondre aux questions suivantes :

1. Quelle bague de roulement est serrée ?
2. Quel composant doit effectuer une rotation relative ?
3. Quelle interface porte le cisaillement ?
4. Le filetage pénètre-t-il dans le plan de cisaillement principal ?
5. Comment l'entretoise ferme-t-elle le chemin de charge axial ?
6. Le couple de montage peut-il appliquer une charge latérale anormale au roulement ?

Le chemin de charge correct doit être exprimé directement dans la CAO ou un plan en coupe.

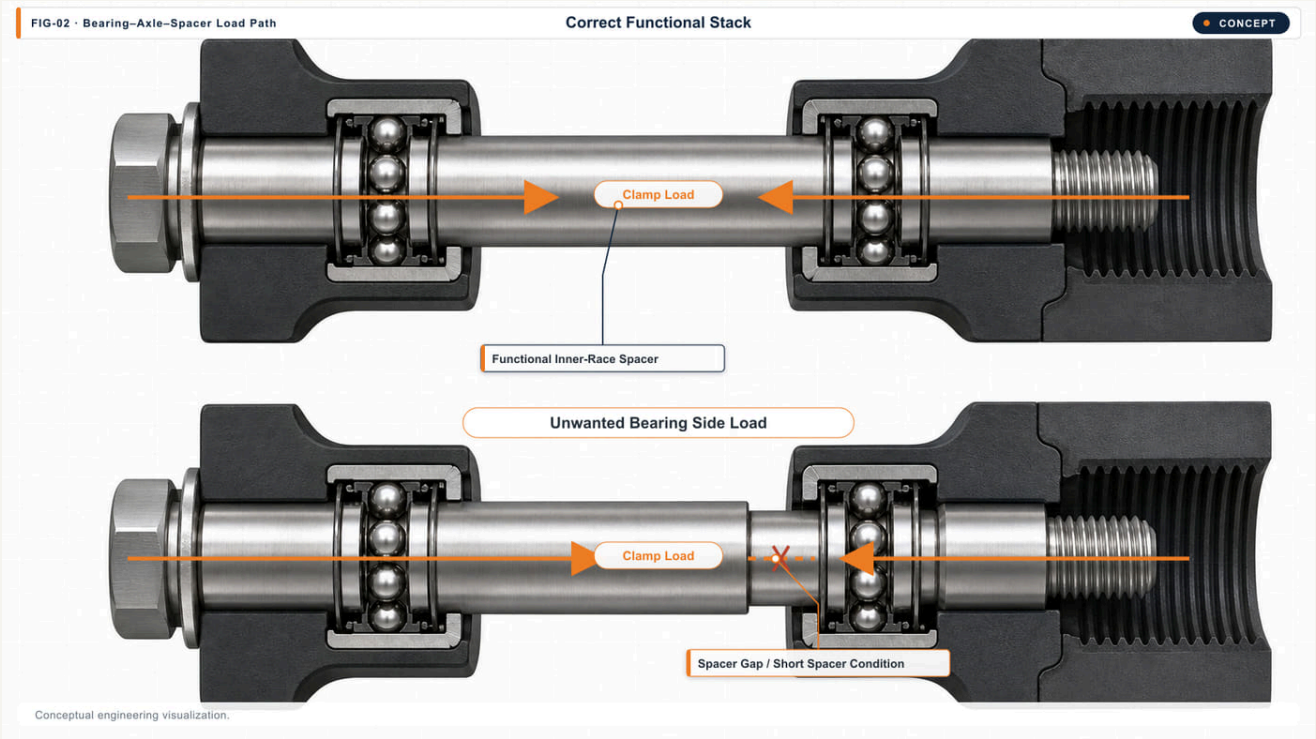


FIG-02 · Figure d'ingénierie — Figure FIG-02. Chemin de charge fonctionnel roulement–axe–entretoise et condition de charge latérale due à une entretoise courte. Visualisation d'ingénierie conceptuelle ; aucune force quantifiée ni chaîne de cotes libérée n'est sous-entendue. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

5.7 Maintenabilité : le troisième démontage constitue le véritable essai

La conception du cadre ne peut pas demander seulement :

> « L'usine peut-elle l'assembler correctement la première fois ? »

Elle doit aussi demander :

> « Après deux ans de roulage, un atelier de vélos peut-il le démonter normalement ? »

Les indicateurs importants comprennent :

- accès de l'outil ;
- durabilité de l'empreinte ;
- couple de démontage ;
- grippage par corrosion ;
- grippage adhésif ;
- pièces captives ;
- identification des pièces ;
- disponibilité des remplacements ;
- règles de réutilisation.

5.8 L'entretien OEM démontre que la maintenabilité est une exigence réelle

Le guide d'entretien public de Santa Cruz fournit une logique d'inspection et de lubrification périodiques des axes et roulements de pivot.[R9] Specialized offre une assistance de remplacement à long terme des roulements de pivot de suspension pour certains produits tout-suspendus actuels.[R10]

Cela ne signifie pas que leurs roulements sont de « mauvaise qualité » ; cela signifie que :

> **Les marques haut de gamme traitent déjà les roulements de pivot comme des composants maintenables pendant tout le cycle de vie du vélo complet.**

Le livre blanc propose donc un :

Indice de maintenabilité

Il peut évaluer :

- standardisation des outils ;
- accès ;
- démontage ;
- remplacement des roulements ;
- kit de remplacement ;
- spécification de couple ;
- risque de grippage ;
- répétabilité du remontage.

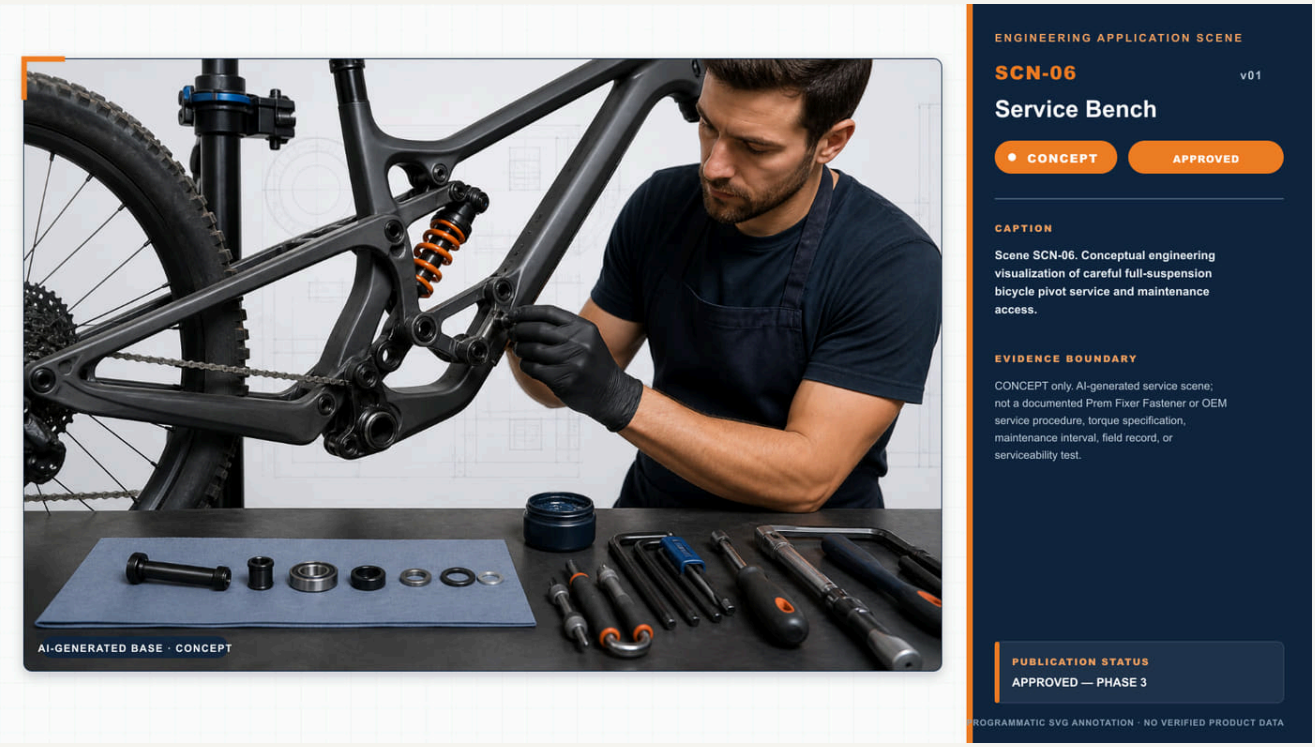
Encadré de preuves du chapitre

Externe

- Fretting/humidité : [R5][R6]
- Entretien Santa Cruz : [R9]
- Diagnostic des craquements : [R29]
- Assistance roulements Specialized : [R10]

PremFixer Fasteners

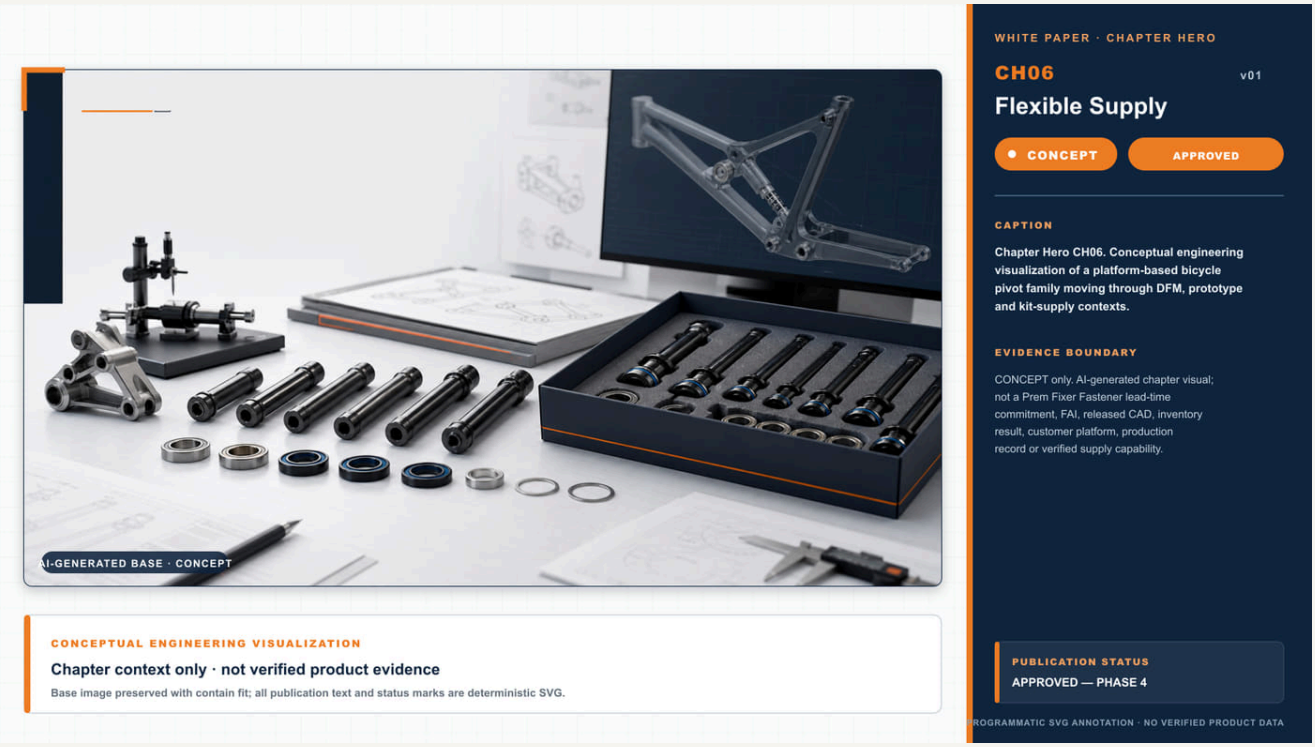
- Essai de pénétration : C05-001 / E0
- Amélioration NVH : C05-004 / E0
- Couple de démontage : C05-005 / E0
- Répétabilité au troisième entretien : C05-007 / E0



SCN-06 · Scène d'application — Scène SCN-06. Visualisation d'ingénierie conceptuelle d'un entretien soigneux du pivot d'un vélo tout-suspendu et de son accès de maintenance. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

Chapitre 6 : développement rapide, plateforme et flexibilité de la chaîne d’approvisionnement

6. Développement rapide, stratégie de plateforme et flexibilité d’approvisionnement



CH06 · Visuel de chapitre — Visuel de chapitre CH06. Visualisation d’ingénierie conceptuelle d’une famille de pivots sur plateforme parcourant les étapes DFM, prototype et fourniture en kit. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d’usine, de contrôle, d’essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

6.1 La fabrication sur plan ne suffit plus

Processus traditionnel :

> Plan → devis → usinage

Processus recommandé pour les pivots haut de gamme :

> Exigence
> → DFM
> → revue des risques

→ définition de la liaison
→ matériau / revêtement
→ prototype
→ FAI
→ essai de liaison
→ présérie
→ libération

6.2 Questions auxquelles la première revue DFM doit répondre

Géométrie

- Le filetage se trouve-t-il dans une zone à fort cisaillement ?
- La terminaison de l'alésage creux crée-t-elle une entaille ?
- L'épaulement assure-t-il un appui suffisant ?
- L'engagement de l'outil est-il suffisant ?

Ajustement

- Diamètre intérieur du roulement
- Portée
- Entretoise
- Biellette
- Revêtement

Matériau

- Résistance
- Fatigue
- Corrosion
- Grippage
- Compatibilité du revêtement

Assemblage

- Couple
- Lubrification
- Frein-filet
- Accès
- Détrompage

Service

- Démontage

- Réutilisation
- Pièces de rechange
- Marquage

6.3 Un prototype en 7–10 jours n’est qu’une cible conditionnelle

La V2.0 recommande :

> [TARGET] **Pour les projets dont les ressources en matériaux, outillages, traitements thermiques et traitements de surface sont toutes disponibles, une cible de prototype rapide en 7–10 jours ouvrés peut être fixée ; le délai réel est régi par le chemin critique du projet.**

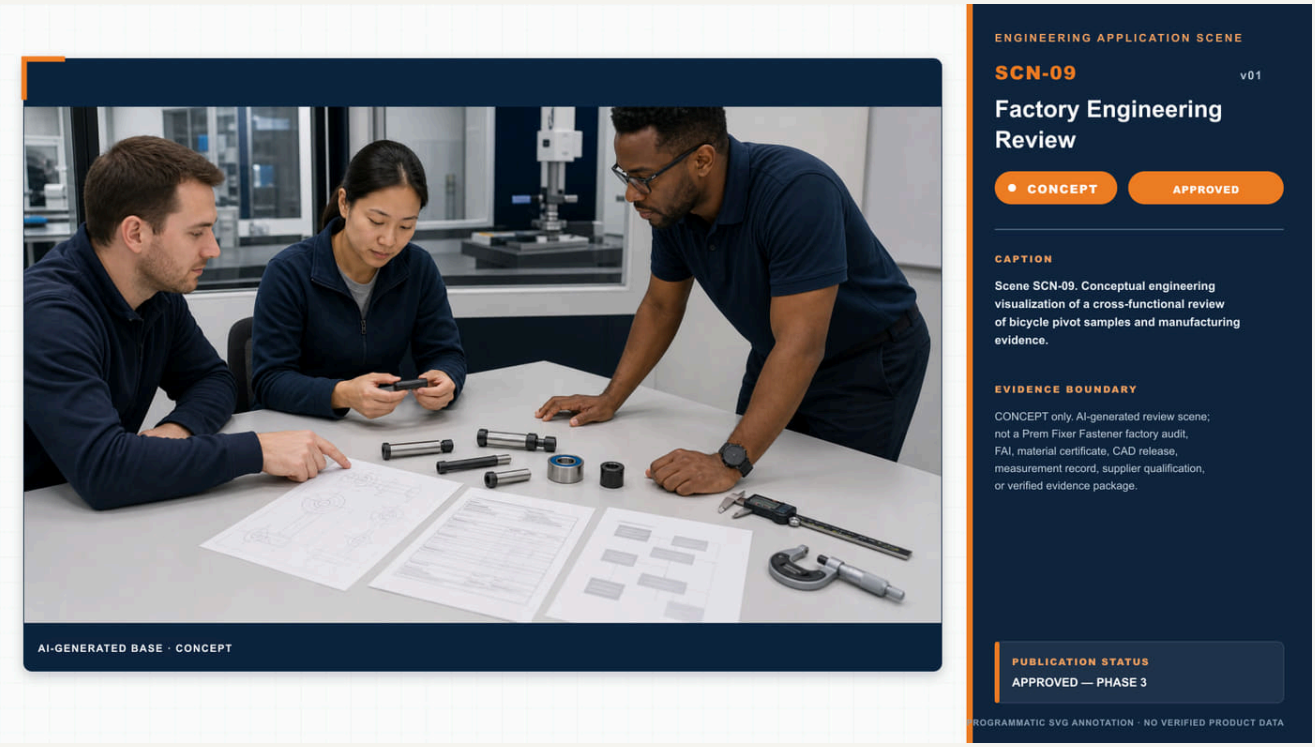
Pour élever cette cible au rang d’allégation factuelle, fournir :

- date de RFQ ;
- gel du plan ;
- date d’achèvement des échantillons ;
- date de FAI ;
- retour client.

6.4 La FAI ne consiste pas à « mesurer quelques dimensions »

Une FAI complète doit inclure :

- plan bullé ;
- rapport dimensionnel complet ;
- certificat matière ;
- enregistrement du traitement thermique ;
- certificat de revêtement ;
- résultat de jauge filetée ;
- ajustement fonctionnel ;
- masse ;
- photos ;
- révision ;
- dérogations.



SCN-09 · Scène d'application — Scène SCN-09. Visualisation d'ingénierie conceptuelle d'une revue interfonctionnelle d'échantillons de pivots de vélo et de preuves de fabrication. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

6.5 Plateformisation

Plusieurs modèles de vélos peuvent partager :

- la famille de filetages ;
- l'empreinte ;
- l'interface de roulement ;
- le revêtement ;
- le matériau ;
- la famille de rondelles ;
- la logique de références.

Tout en faisant varier :

- la longueur d'épaulement ;
- la longueur totale ;
- la profondeur creuse ;
- la géométrie de tête.

L'objectif est de :

> **Réduire les variations inutiles sans contraindre tous les modèles de vélos à employer la même pièce.**

6.6 La « réduction de 30–50% du nombre de SKU » doit être démontrée par la nomenclature client

Le livre blanc général ne conserve que le modèle :

$$Savings_{SKU} = C_{inventory} + C_{MOQ} + C_{planning} + C_{quality} + C_{service}$$

Le pourcentage d'économie réel doit être calculé à partir de :

- nombre de SKU avant ;
- nombre de SKU après ;
- volume ;
- MOQ ;
- stock de sécurité ;
- demande de pièces de rechange.

6.7 Un vélo / un kit de pivot

La logique d'emballage adaptée à une usine d'assemblage comprend :

- un kit par cadre ;
- marquage des positions ;
- identification QR/lot ;
- ordre d'assemblage ;
- référence de couple ;
- maîtrise des révisions.

Cela peut réduire :

- les pièces manquantes ;
- les mélanges de longueurs ;
- le prélèvement en bord de ligne ;
- la confusion de révision.

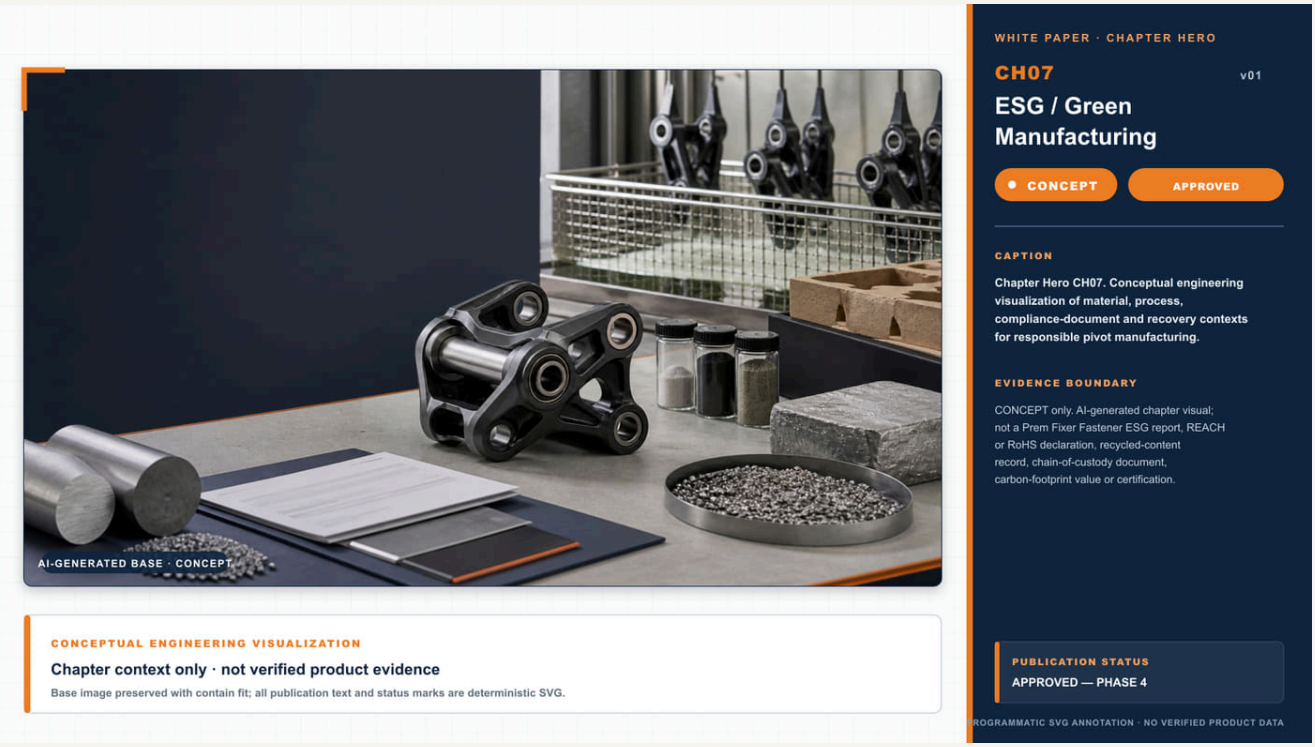
Encadré de preuves du chapitre

PremFixer Fasteners

- Délai de prototype : C06-001 / E0
- Capacité FAI : C06-002 / E0
- Fourniture en kit : C06-003 / E0
- Réduction du TCO : C06-004 / E0-E1
- Réduction du nombre de SKU : C06-005 / E0

Chapitre 7 : ESG, REACH, RoHS et fabrication verte

7. ESG, conformité chimique et fabrication verte



CH07 · Visuel de chapitre — Visuel de chapitre CH07. Visualisation d'ingénierie conceptuelle des contextes de matériaux, procédés, documents de conformité et récupération pour une fabrication responsable des pivots. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

7.1 L'ESG ne peut se limiter à l'expression « matériau respectueux de l'environnement »

Pour la chaîne d'approvisionnement d'une marque haut de gamme, les exigences ESG/conformité peuvent inclure :

- substances restreintes ;
- traçabilité ;
- maîtrise du Cr(VI) ;
- contenu recyclé ;
- chaîne de contrôle ;
- empreinte carbone ;
- gestion environnementale des fournisseurs.

7.2 REACH : la liste des substances candidates est dynamique

La liste des substances candidates de l'ECHA est mise à jour ; une déclaration correcte doit donc inclure :

- date d'émission ;
- date de référence de la liste candidate ;
- périmètre matériau/SKU ;
- version de la déclaration fournisseur ;
- essais/criblage lorsque requis.

Ne pas déclarer :

> « Conforme à REACH de façon permanente. »

7.3 RoHS : l'applicabilité doit être correctement définie

Le champ principal de la directive RoHS 2011/65/EU est celui des équipements électriques et électroniques.[R30]

La nécessité de preuves RoHS pour la visserie mécanique de pivot doit donc être déterminée à partir de :

- la portée du produit E-bike/EEE final ;
- la nomenclature client ;
- la RSL du client ;
- le contrat.

Formulation correcte :

> **« Les déclarations matière correspondantes peuvent être fournies selon le champ réglementaire du produit final et la spécification de substances restreintes du client. »**

7.4 Sans Cr(VI)

La chaîne d'approvisionnement peut réduire le risque lié au chrome hexavalent au moyen de :

- passivation trivalente ;
- couche de finition sans Cr(VI) ;
- systèmes à lamelles de zinc adaptés ;
- revêtements alternatifs.

Une allégation « sans Cr(VI) » doit toutefois être étayée par :

- déclaration fournisseur ;
- spécification chimique ;

- rapport d’essai lorsque requis.

7.5 Contenu recyclé : établir une chaîne de contrôle

Les mises à jour de 2026 des normes ISO relatives aux déclarations environnementales et à la chaîne de contrôle soulignent davantage que les allégations environnementales exigent une attribution crédible des matériaux et une logique de traçabilité.[R31][R32]

Si PremFixer Fasteners revendique ultérieurement :

> « X% d’aluminium recyclé »

il doit conserver :

- fournisseur de matière première ;
- lot ;
- déclaration ;
- modèle de chaîne de contrôle ;
- méthode de calcul ;
- règles de bilan massique, le cas échéant.

7.6 Empreinte carbone

Un futur modèle peut être établi comme suit :

CFP =
Raw\ Material
+ Machining
+ Heat\ Treatment
+ Coating
+ Packaging
+ Transport

Formats de sortie :

- kg CO_2e / 1,000 pcs
- kg CO_2e / kit de pivot

Mais il faut d’abord définir :

- le périmètre ;
- la source des données ;
- l’allocation ;
- le mix électrique ;

- les hypothèses de transport.

Encadré de preuves du chapitre

Externe

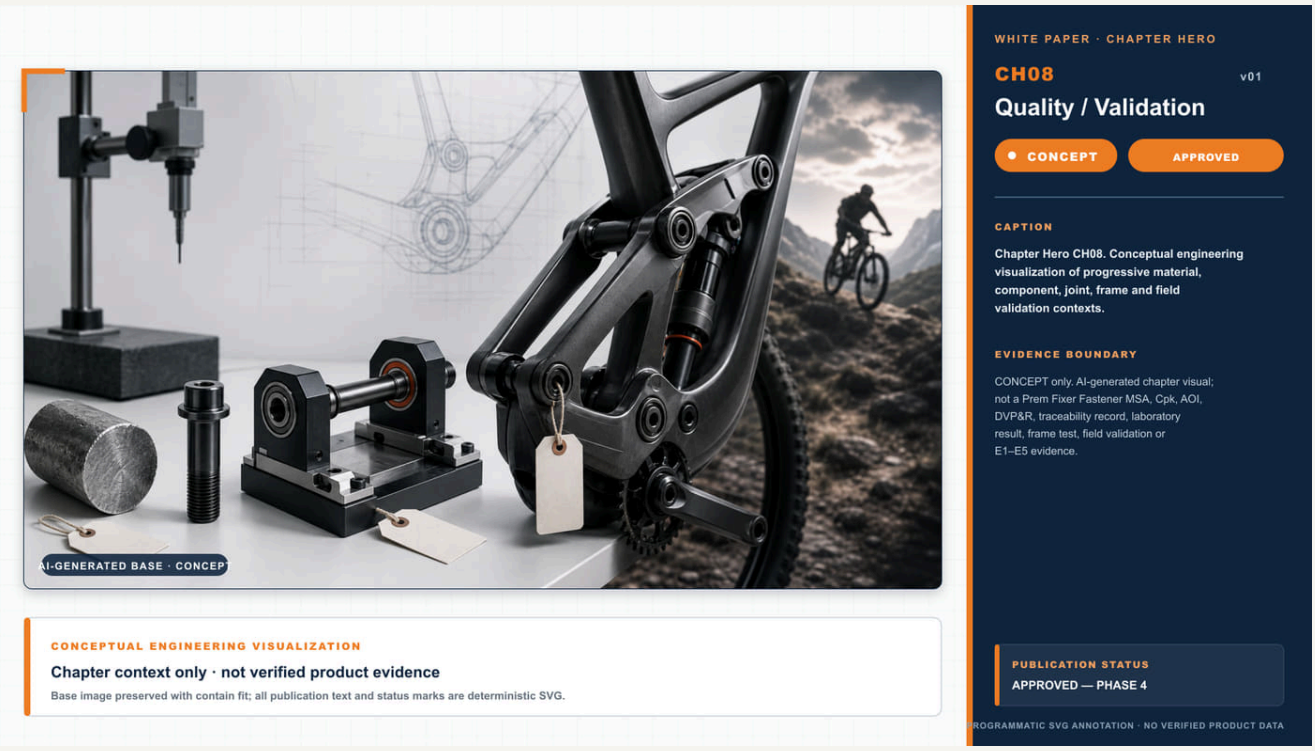
- ECHA/REACH : [R33]
- RoHS : [R30]
- ISO 14021/chaîne de contrôle : [R31][R32]

PremFixer Fasteners

- Déclarations REACH : C07-001 / E0
- Preuves sans Cr(VI) : C07-002 / E0
- Contenu recyclé : C07-004 / E0
- CFP : C07-005 / E0

Chapitre 8 : ingénierie qualité, DVP&R et fabrication intelligente

8. Ingénierie qualité, validation et traçabilité numérique



CH08 · Visuel de chapitre — Visuel de chapitre CH08. Visualisation d'ingénierie conceptuelle des étapes progressives de validation du matériau, du composant, de la liaison, du cadre et du terrain. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

8.1 DFMEA : passer du « contrôle des défauts » à la « prévention des défaillances »

Exemple :

Mode de défaillance	Cause potentielle	Effet potentiel	Prévention
Autodesserrage	Perte de serrage / vibration	Jeu / craquement	Conception de liaison + blocage
Arrachement du filetage	Surcouple / filetage femelle faible	Perte de retenue	Engagement + couple
Fretting	Ajustement / micro-glissement	Usure / craquement	Ajustement + serrage
Grippage	Contact Ti/SS sec	Grippage	Lubrification/revêtement
Corrosion	Revêtement/galvanique	Grippage / perte de résistance	Surface + isolation

Mode de défaillance	Cause potentielle	Effet potentiel	Prévention
Fissure de fatigue	Concentration de contrainte	Défaillance structurelle	Géométrie + essai de fatigue
Traînée du roulement	Serrage excessif / entretoise	Mauvaise réponse de suspension	Conception de l'empilage
Empreinte endommagée	Outil/géométrie	Reprise	Maîtrise de l'interface d'entraînement

8.2 PFMEA + plan de contrôle

Les risques côté fabrication comprennent :

- mélange de matériaux ;
- programme incorrect ;
- usure d'outil ;
- filetage endommagé ;
- revêtement incorrect ;
- position incorrecte du patch ;
- mélange de révisions ;
- emballage incorrect.

Chaque point doit être lié à :

- prévention ;
- détection ;
- fréquence ;
- plan de réaction ;
- traçabilité.

8.3 CTQ

Les CTQ types d'un pivot comprennent :

- diamètre de portée fonctionnelle ;
- longueur d'épaulement ;
- face fonctionnelle ;
- filetage GO/NO-GO ;
- position du filetage ;
- battement ;
- géométrie de l'empreinte ;
- dureté ;
- épaisseur du revêtement ;
- comportement frottement/couple lorsqu'il est maîtrisé ;

- position du patch de blocage.

8.4 La MSA précède le Cpk

Si le système de mesure n'est pas fiable :

> Le Cpk ne fait que « calculer précisément des données erronées ».

Processus :

Sélection de la jauge
→ Étalonnage
→ MSA / Gage R&R
→ SPC
→ Cp/Cpk

Pour les tolérances serrées en particulier, vérifier :

- résolution de la jauge ;
- température ;
- opérateur ;
- montage ;
- état de surface ;
- revêtement.

8.5 Cpk ≥1.33 doit être un jalon projet, non une allégation sans preuve

La V2.0 peut traiter :

- Cpk ≥1.33
- Cpk ≥1.67

comme des cibles recommandées pour le projet ou convenues avec le client.

Toute allégation externe de PremFixer Fasteners doit cependant provenir de :

- caractéristique ;
- spécification ;
- procédé stable ;
- logique d'échantillons/sous-groupes ;
- MSA ;
- jeu de données réel.

8.6 Contrôle AOI à 100% ≠ garantie de 0 PPM

L'AOI peut être utilisée pour :

- caractéristiques manquantes ;
- défauts de tête ;
- longueur ;
- défauts de surface ;
- mélange de pièces ;
- certaines caractéristiques dimensionnelles.

Elle ne peut pas détecter automatiquement :

- une composition chimique de matériau incorrecte ;
- des fissures internes ;
- la fragilisation par l'hydrogène ;
- une faiblesse en fatigue ;
- toutes les dimensions internes.

Formulation correcte :

> **Contrôle automatisé à 100% de caractéristiques détectables définies.**

Et non :

> « AOI = 0 PPM. »

8.7 Pyramide de validation

Niveau 1 — matériau

- Composition chimique
- Dureté
- Données mécaniques
- Épaisseur du revêtement

Niveau 2 — fixation

- Dimensions
- Couple de l'empreinte
- Arrachement du filetage
- Traction/cisaillement

- Corrosion

Niveau 3 — liaison

- Comportement couple–effort de serrage
- Assemblages répétés
- Démontage
- Vibration transversale
- Traînée du roulement
- Fretting

Niveau 4 — cadre

- Statique
- Fatigue
- Choc
- Configuration réelle du pivot

Niveau 5 — terrain

- Vélos pilotes
- Heures de roulage
- Garantie
- Retour des revendeurs

FIG-15 · Figure d'ingénierie — Figure FIG-15. Pyramide conceptuelle de validation DVP&R, des contrôles du matériau et de la fixation jusqu'aux preuves de liaison, de cadre et de terrain. Il ne s'agit pas d'un dossier de validation PremFixer Fasteners achevé. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

8.8 ISO 4210 et limites des applications extrêmes

L'ISO 4210-2:2023 s'applique à une gamme de vélos, y compris les vélos tout-terrain, et précise explicitement qu'elle ne s'applique pas à certains vélos conçus pour des applications sévères telles que les compétitions homologuées ou les acrobaties.[R34]

L'ISO 4210-6:2023 fournit les méthodes d'essai du cadre et de la fourche correspondant à l'ISO 4210-2.[R35]

Par conséquent :

> **L'ISO 4210 peut servir de référence importante pour le vélo complet/le cadre, mais les projets extrêmes de DH/course/freeride peuvent exiger des cas de charge sévère propres à la marque.**

8.9 Matrice centrale DVP&R

Essai	Objectif	Niveau de preuve
Capabilité dimensionnelle	Ajustement stable	E2
Accumulation du revêtement	Ajustement final	E2
Couple–serrage	Précharge de liaison	E3
Couple d'entraînement	Marge d'assemblage	E2

Essai	Objectif	Niveau de preuve
Arrachement du filetage	Capacité du filetage	E2 / E3
Montage répété	Service	E3
Vibration transversale	Blocage	E3
Brouillard salin	Qualité du revêtement	E2
Corrosion cyclique	Environnement	E2 / E3
Essai de liaison au fretting	Interface	E3
Fatigue du cadre	Système	E4
Pilote terrain	Cycle de vie	E5

8.10 Traçabilité

Chaîne recommandée :

Commande client
→ Lot d'emballage
→ Contrôle final
→ Lot de revêtement
→ Lot CNC / révision du programme
→ Lot matière / coulée
→ MTC

L'objectif en cas de réclamation est de :

> **Remonter d'une pièce jusqu'à son matériau et son procédé.**

Encadré de preuves du chapitre

Externe

- ISO 4210-2 : [R34]
- ISO 4210-6 : [R35]
- ISO 9227 / 19852 : [R19][R26]
- ISO 16047 : [R17]

PremFixer Fasteners

- CTQ/plan de contrôle : C08-001 / E0
- Cpk : C08-002 / E0

- Domaine AOI : C08-003 / E0
- Traçabilité matière : C08-005 / E0
- Traçabilité du revêtement : C08-006 / E0

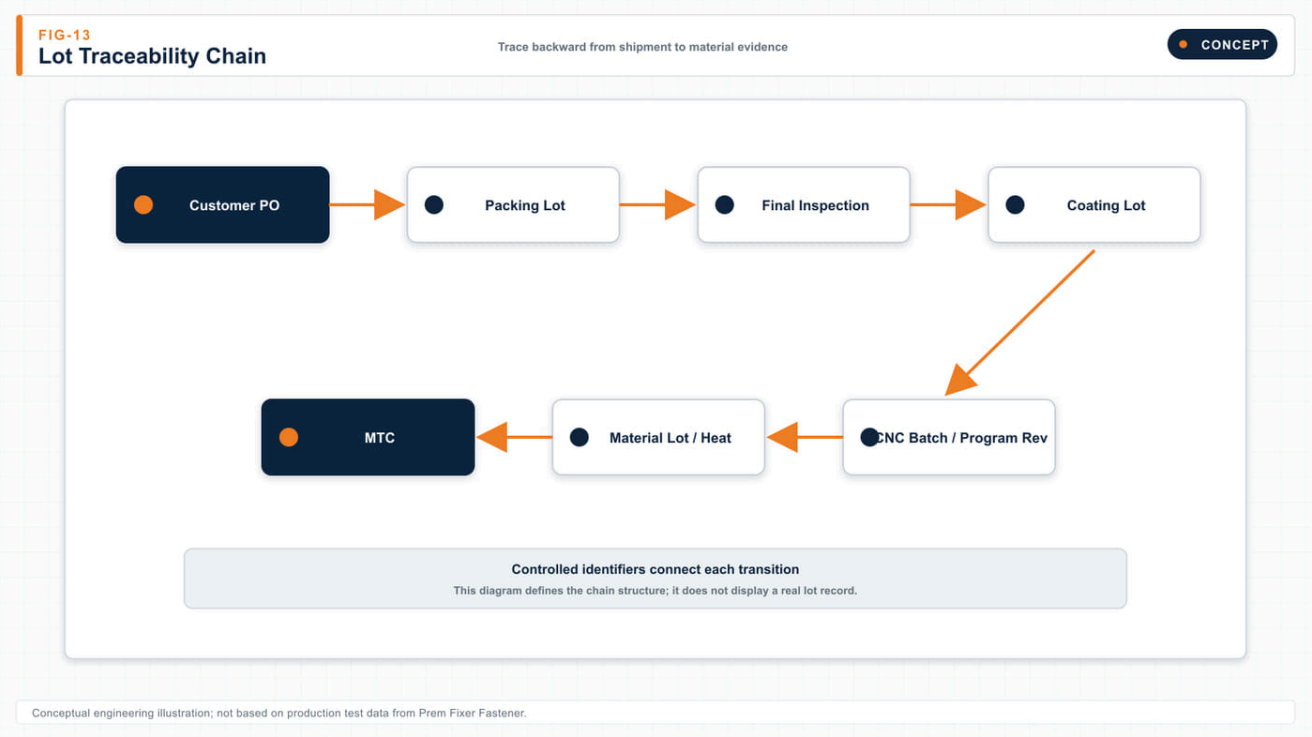
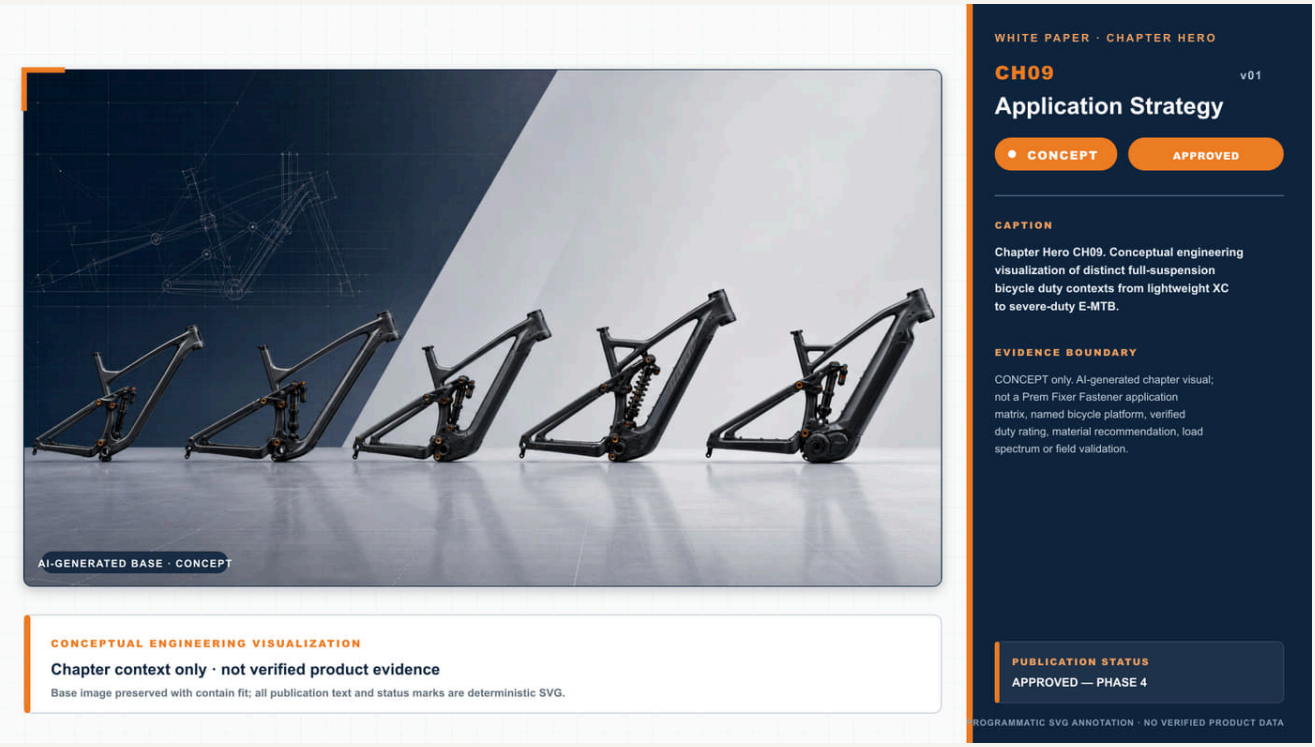


FIG-13 · Figure d'ingénierie — Figure FIG-13. Chaîne conceptuelle de traçabilité ascendante, de l'expédition et du contrôle jusqu'aux preuves de procédé et de matériau. Il ne s'agit pas d'un dossier de production PremFixer Fasteners. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

Chapitre 9 : stratégies de pivot adaptées aux modèles

9. Stratégie de pivot adaptée à l'application



CH09 · Visuel de chapitre — Visuel de chapitre CH09. Visualisation d'ingénierie conceptuelle de contextes d'utilisation distincts de vélos tout-suspendus, du XC léger au E-MTB sévère. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

9.1 XC / Downcountry

Priorités :

1. Masse
2. Rigidité/masse
3. Faible traînée
4. Fiabilité

Orientations possibles :

- 7075
- emploi sélectif du titane ;
- axe creux ;
- tête compacte ;
- étanchéité optimisée.

À éviter :

- affaiblir l’empreinte pour réduire la masse ;
- créer un point chaud de fatigue à la terminaison de l’alésage creux ;
- engagement de filetage insuffisant.

9.2 Trail

Principe central :

> **Architecture équilibrée**

Équilibrer :

- masse ;
- résistance à la boue ;
- service ;
- coût ;
- durabilité.

Le Trail convient comme spécification centrale d’une plateforme commune.

9.3 Enduro

Concentrer l’attention sur :

- choc ;
- fatigue ;
- prévention du desserrage ;
- protection contre la boue ;
- entretien répété ;
- robustesse de l’outil.

9.4 Descente

Concentrer l’attention sur :

- rigidité de la liaison ;
- marge élevée au cisaillement ;
- support des roulements ;
- rapidité d’entretien ;

- validation en usage sévère.

Comme l'ISO 4210-2 exclut elle-même certaines applications de compétition sévères de son domaine,[R34] un projet de course DH ne doit pas dépendre uniquement de la norme générale minimale.

9.5 E-MTB : ne pas copier directement une spécification de MTB analogique

Les spécifications publiées des E-MTB pleine puissance actuels montrent déjà un environnement système nettement différent.

Par exemple, les spécifications actuelles publiées du Trek Rail+ comprennent :

- jusqu'à 120 Nm ;
- 800 Wh ;
- 160 mm de débattement avant/arrière.[R36]

Ces données ne peuvent pas, à elles seules, être converties directement en un pourcentage d'augmentation de la charge du pivot, mais elles suffisent à montrer que les éléments suivants d'un E-MTB :

- masse du système ;
- environnement de couple moteur ;
- durée de roulage ;
- cycles répétés de montée/descente ;

diffèrent de ceux d'un vélo de trail analogique léger.

La V2.0 recommande donc un :

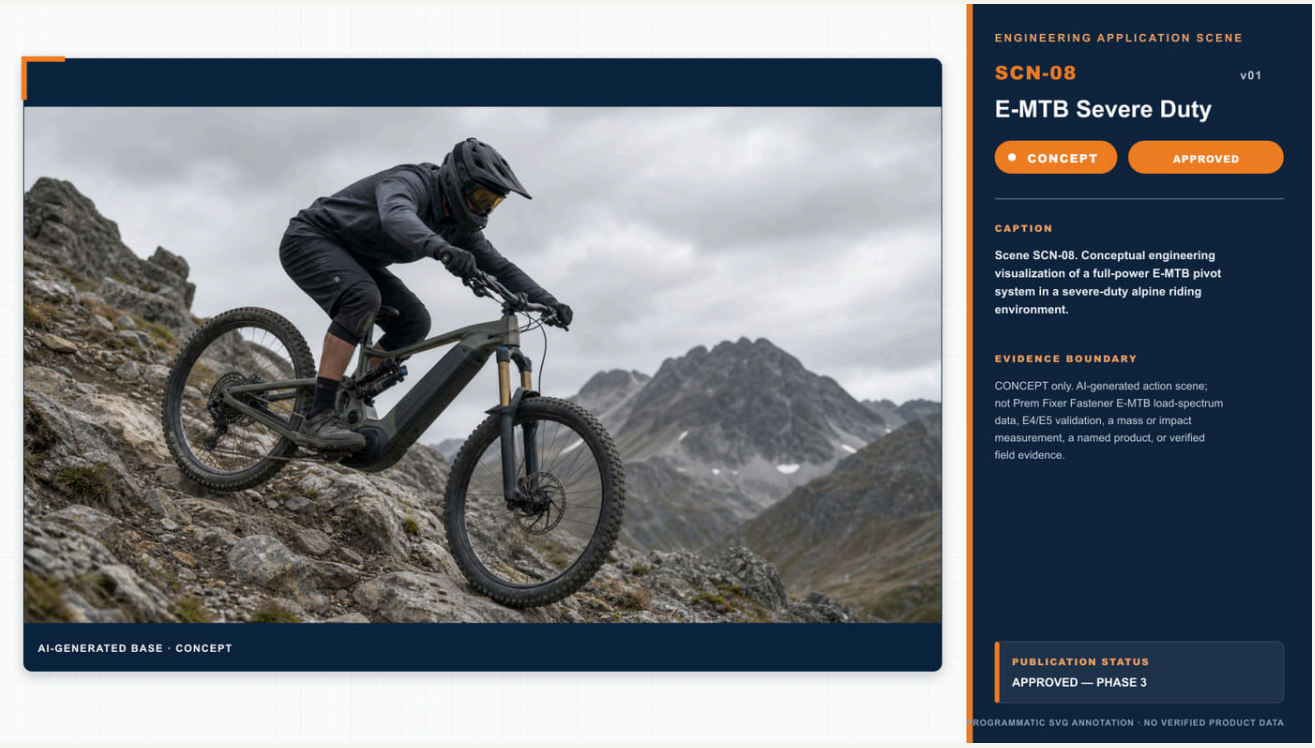
Programme de spectre de charge du pivot E-MTB

Entrées :

- masse du vélo ;
- masse du pilote ;
- couple moteur ;
- géométrie ;
- rapport de levier ;
- charge de freinage ;
- spectre de chocs ;
- débattement ;
- profil d'utilisation.

Sorties :

- cas de conception statiques ;
- spectre de fatigue ;
- essai de blocage ;
- durée de vie des roulements ;
- intervalle de corrosion/service.



SCN-08 · Scène d'application — Scène SCN-08. Visualisation d'ingénierie conceptuelle d'un système de pivot d'E-MTB pleine puissance dans un environnement alpin sévère. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

Encadré de preuves du chapitre

Externe

- Recherche structurelle DH tout-suspendu : [R7]
- Limite ISO des applications sévères : [R34]
- Contexte des spécifications E-MTB actuelles : [R36]

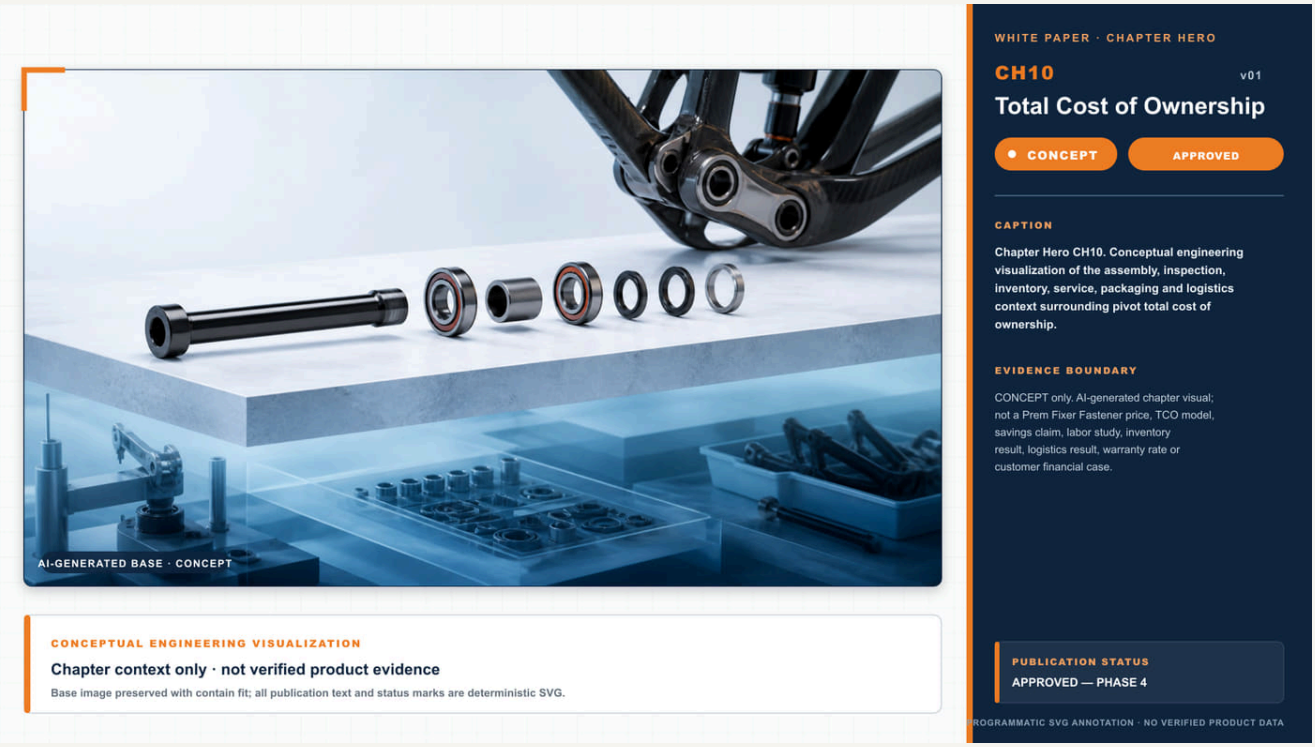
PremFixer Fasteners

- Spectre de charge E-MTB : NEW-T25 / E0-E1
- Cadre/liaisons : E3-E4 en attente

FIG-14 · Figure d'ingénierie — Figure FIG-14. Matrice conceptuelle de stratégie d'application pour les contextes XC, Trail, Enduro, DH et E-MTB. Elle ne constitue ni une règle obligatoire de sélection des matériaux ni un classement d'usage vérifié. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

Chapitre 10 : coût total de possession des pivots

10. Économie du cycle de vie



CH10 · Visuel de chapitre — Visuel de chapitre CH10. Visualisation d'ingénierie conceptuelle du contexte d'assemblage, de contrôle, de stock, de service, d'emballage et de logistique entourant le coût total de possession d'un pivot. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

10.1 La pièce la moins chère ne produit pas nécessairement le coût le plus bas

Comparer deux options :

Option A

Prix d'achat inférieur

Mais potentiellement :

- variation d'assemblage plus élevée ;
- plus de reprises ;
- faible marge à la corrosion ;
- démontage difficile ;
- traçabilité incertaine.

Option B

Prix d’achat supérieur

Mais elle peut réduire le coût du cycle de vie grâce à :

- liaisons stables ;
- blocage préappliqué ;
- revêtement maîtrisé ;
- emballage en kit ;
- maintenabilité ;
- preuves qualité.

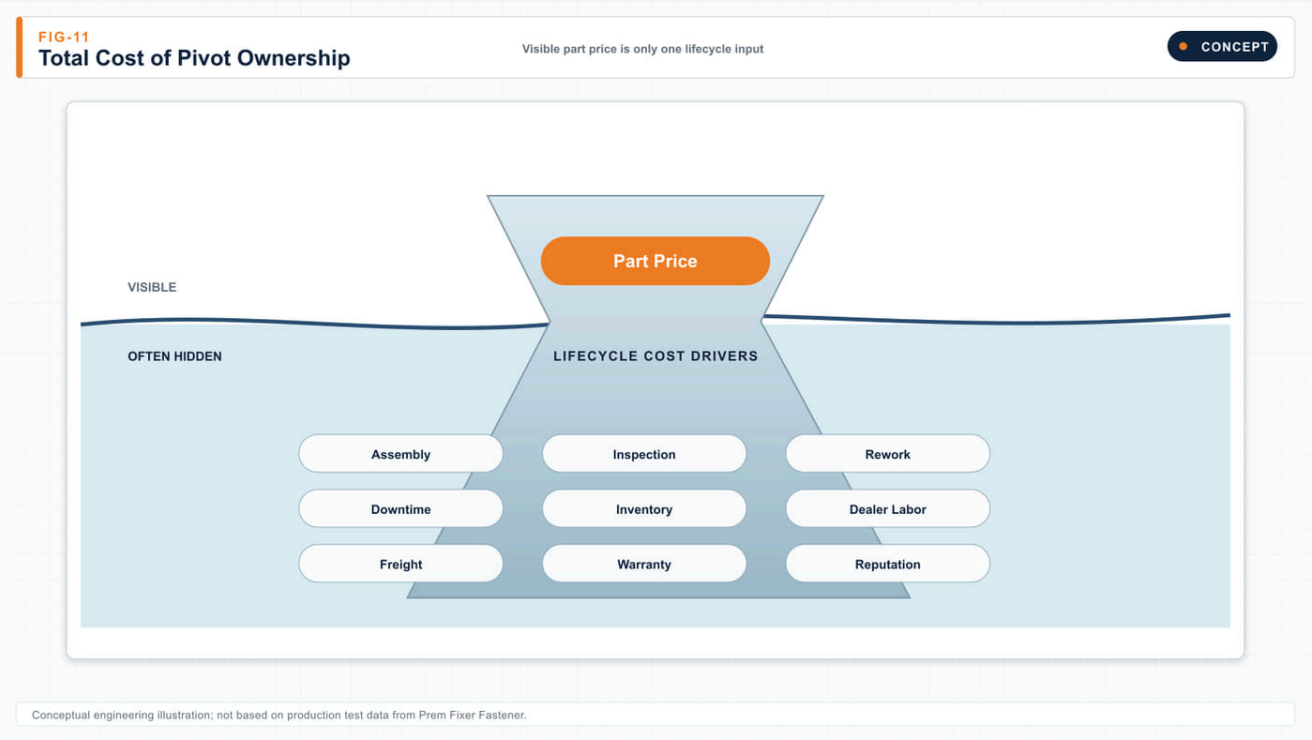


FIG-11 · Figure d’ingénierie — Figure FIG-11. Iceberg conceptuel du coût total de possession. Les catégories de facteurs de coût sont illustratives ; aucun résultat financier de PremFixer Fasteners ou d’un client n’est revendiqué. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d’usine, de contrôle, d’essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

10.2 Modèle de coût attendu

$$E(C)= C_{part} + P_{rework}C_{rework} + P_{warranty}C_{warranty} + C_{inventory}$$

$$+$$

$$C_{inspection}$$

Les achats doivent donc comparer :

> **Le coût par vélo fiable**

et non :

> **Le coût par boulon**

10.3 Coût de garantie

$$C_{warranty}$$

$$=$$

$$C_{hardware}$$

$$+$$

$$C_{bearing}$$

$$+$$

$$C_{dealer}$$

$$+$$

$$C_{freight}$$

$$+$$

$$C_{admin}$$

$$+$$

$$C_{customer}$$

Pour une marque internationale, la main-d'œuvre du revendeur et la logistique peuvent coûter bien plus que la visserie elle-même.

10.4 Sources des données TCO

Entrées client recommandées :

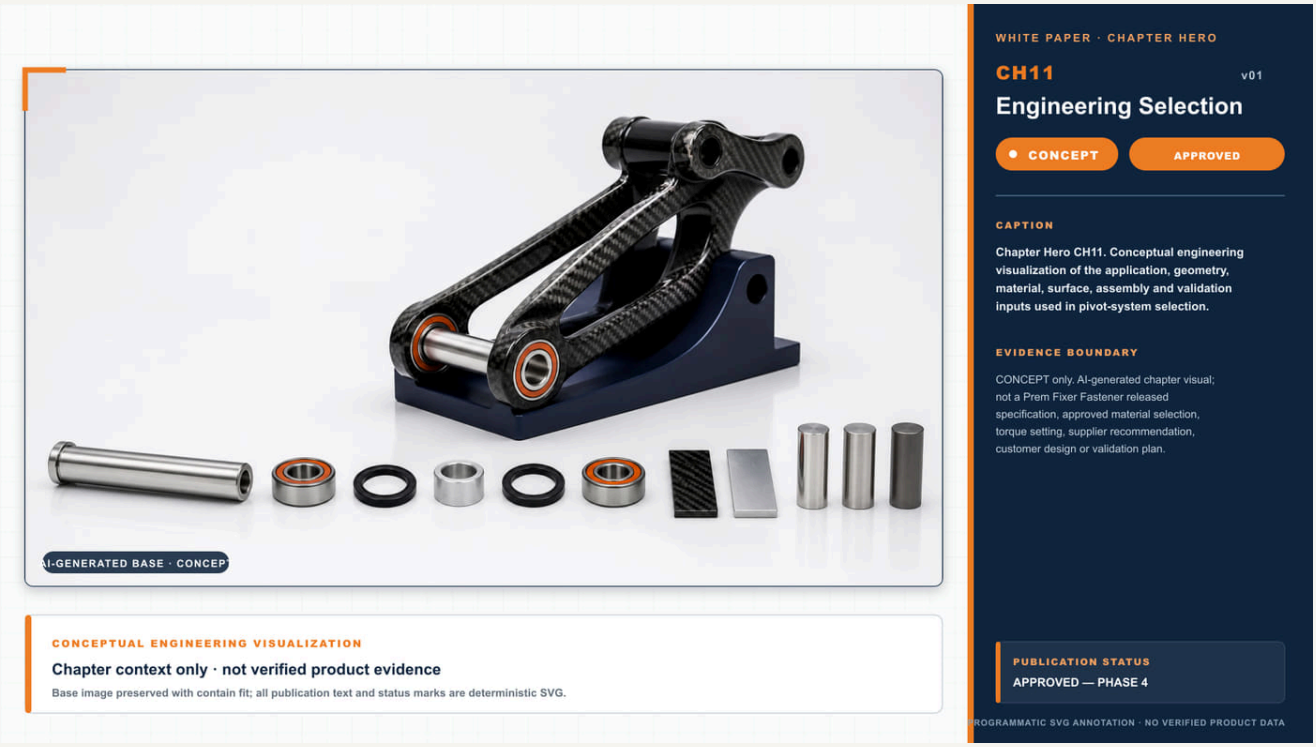
- volume annuel de vélos ;
- coût de la visserie ;
- main-d'œuvre d'assemblage ;
- taux de reprise ;
- coût de reprise ;
- taux de garantie ;
- coût moyen de garantie ;

- main-d’œuvre du revendeur ;
- fret ;
- coût de possession du stock ;
- nombre de SKU ;
- rebut.

L’objectif final consiste à convertir l’amélioration technique en résultat financier compréhensible par les équipes achats.

Chapitre 11 : guide de sélection d’ingénierie des pivots

11. Cadre de sélection en neuf étapes



CH11 · Visuel de chapitre — Visuel de chapitre CH11. Visualisation d’ingénierie conceptuelle des entrées d’application, de géométrie, de matériau, de surface, d’assemblage et de validation utilisées pour sélectionner un système de pivot. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d’usine, de contrôle, d’essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

Étape 1 — matériau du cadre

- Carbone
- Aluminium
- Mixte

Sorties :

- risque de pression locale ;
- risque galvanique ;
- stratégie d’insert.

Étape 2 — plateforme de roulage

- XC
- Downcountry
- Trail
- Enduro
- DH
- E-MTB

Étape 3 — définition des charges

Entrées :

- pilote ;
- vélo ;
- rapport de levier ;
- position du pivot ;
- freinage ;
- choc ;
- pédalage/moteur.

Étape 4 — matériau

Candidats :

- alliage d’aluminium ;
- titane ;
- acier allié ;
- acier inoxydable.

Étape 5 — géométrie

- Portée
- Épaulement
- Filetage
- Tête
- Congé
- Alésage creux
- Empreinte

Étape 6 — système de surface

- Revêtement
- Épaisseur
- Frottement
- Corrosion
- Couleur
- Conformité chimique

Étape 7 — stratégie de blocage

- Frein-filet liquide
- Adhésif préappliqué
- Patch de blocage
- Blocage mécanique
- Écrou
- Antirotation structurelle

Étape 8 — étalonnage couple–effort de serrage

Définir :

- état de surface ;
- couple ;
- effort de serrage ;
- dispersion ;
- démontage ;
- réutilisation.

Étape 9 — libération DVP&R

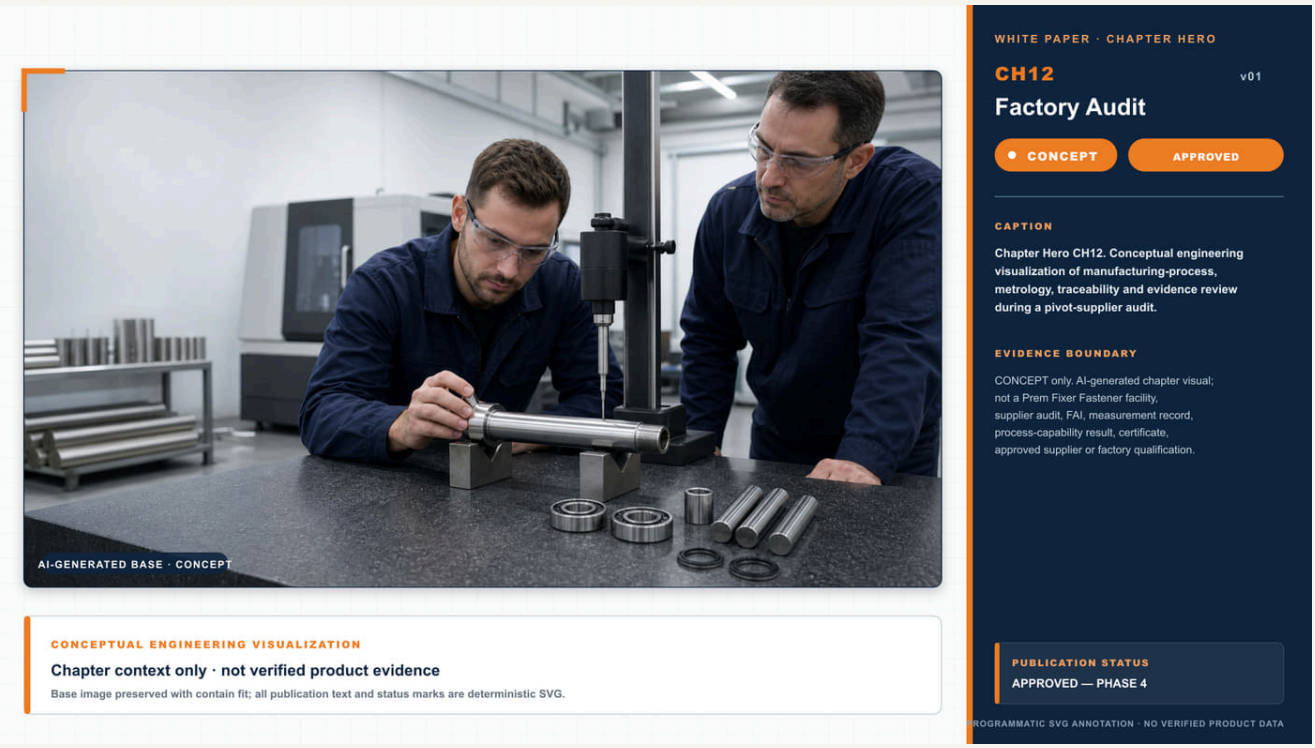
Au minimum :

- plan ;
- FAI ;
- MTC ;
- revêtement ;
- CTQ ;
- couple ;
- corrosion ;
- traçabilité.

Chapitre 12 : audit d’usine fournisseur

12. Audit d’ingénierie sur 100 points

Module	Points
Ingénierie & DFM	15
Matériau & traçabilité	10
CNC / procédé de précision	15
Procédé de filetage	10
Traitement de surface	10
Mesure / MSA	15
Qualité / SPC	10
Emballage / traçabilité	5
ESG / conformité chimique	5
Livraison / maîtrise des modifications	5
Total	**100**



CH12 · Visuel de chapitre — Visuel de chapitre CH12. Visualisation d'ingénierie conceptuelle de la revue des procédés de fabrication, de la métrologie, de la traçabilité et des preuves lors de l'audit d'un fournisseur de pivots. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

12.1 Ingénierie & DFM — 15

Vérifier :

- revue du plan ;
- chaîne de cotes ;
- interface de roulement ;
- plan de cisaillement ;
- surépaisseur de revêtement ;
- compréhension du couple–effort de serrage ;
- maintenabilité ;
- maîtrise des modifications.

12.2 Matériau — 10

- MTC
- Coulée/lot
- Ségrégation
- Contrôle à réception
- Vérification de nuance
- Lien avec les certificats

12.3 CNC — 15

- Capabilité machine
- Maîtrise du programme
- Montage
- Durée de vie des outils
- Compensation
- Mesure en cours de procédé

12.4 Filetage — 10

- Procédé de roulage/coupe
- Jauge
- Battement
- Bavure
- Intégrité du fond de filet
- Traçabilité

Les recherches publiées sur la fatigue étayent le traitement de la méthode de fabrication du filetage comme variable d'ingénierie importante.[R3]

12.5 Surface — 10

- Source qualifiée
- Prétraitement
- Épaisseur
- Brouillard salin
- Frottement
- Fragilisation par l'hydrogène
- Lot
- Conformité chimique

12.6 Mesure — 15

Ne pas demander seulement :

> « Y a-t-il une CMM ? »

Demander :

> **« La jauge associée à chaque CTQ est-elle réellement adéquate ? »**

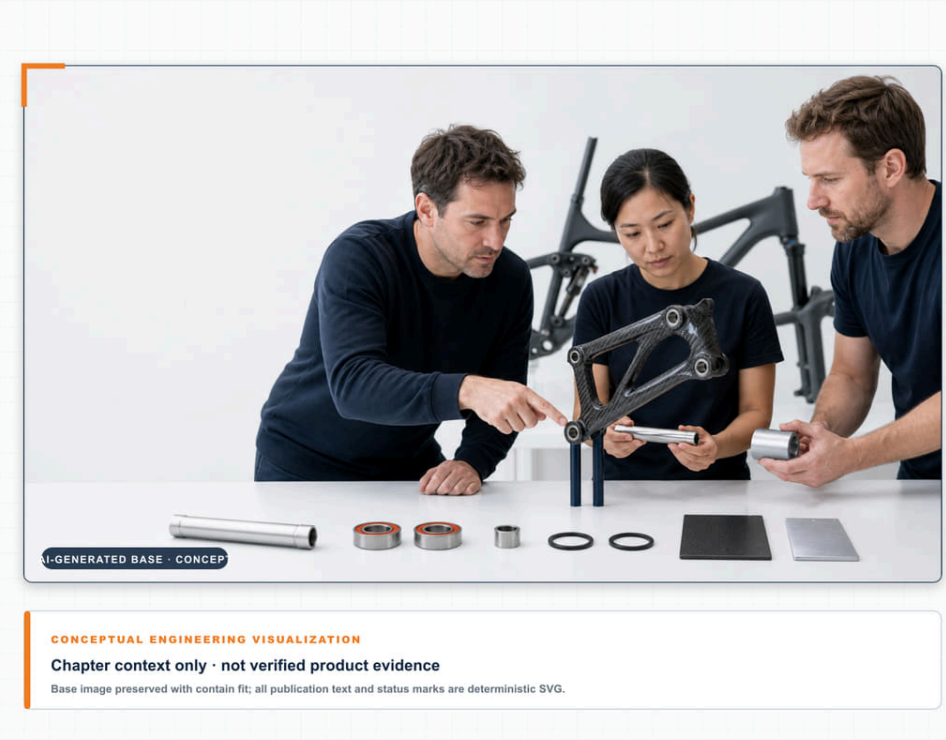
Les équipements peuvent comprendre :

- micromètre ;
- jauge pneumatique ;
- système de vision ;
- CMM ;
- rugosimètre ;
- appareil de mesure d’épaisseur de revêtement ;
- duromètre ;
- équipement de mesure couple/effort de serrage ;
- enceinte de brouillard salin.

Chapitre 13 : modèle de partenariat fondé sur les preuves de PremFixer Fasteners

13. Du fournisseur de fixations au partenaire d'ingénierie des pivots

> Ce chapitre définit le mode de fonctionnement visé pour le projet PremFixer Fasteners V2.0.
> Toute capacité de performance précise présentée comme « déjà disponible à l'usine » ne peut entrer dans la version publique finale qu'après obtention de preuves réelles.



WHITE PAPER · CHAPTER HERO

CH13 v01

Engineering Partner

CONCEPT APPROVED

CAPTION

Chapter Hero CH13. Conceptual engineering visualization of collaborative design, DFM, validation planning and lifecycle support around a bicycle pivot kit.

EVIDENCE BOUNDARY

CONCEPT only. AI-generated chapter visual; not a Prem Fixer Fastener team photograph, customer program, released CAD, validation plan, delivery commitment, factory capability or verified partnership outcome.

PUBLICATION STATUS

APPROVED — PHASE 4

ROGRAMMATIC SVG ANNOTATION · NO VERIFIED PRODUCT DATA

CH13 · Visuel de chapitre — Visuel de chapitre CH13. Visualisation d'ingénierie conceptuelle de la conception collaborative, de la DFM, de la planification de validation et de l'assistance sur le cycle de vie d'un kit de pivot de vélo. **CONCEPT uniquement.** Ce visuel ne constitue pas une preuve de produit, d'usine, de contrôle, d'essai, de performance sur le terrain ou de certification de PremFixer Fasteners.

13.1 De l'ingénierie à la valeur

Processus cible :

Exigence client
→ DFM
→ Revue des risques de défaillance
→ Matériau / revêtement

→ **Prototype**
→ **FAI**
→ **DVP&R**
→ **Présérie**
→ **Production en série**
→ **Traçabilité des lots**
→ **Retour terrain**

13.2 Dossier de preuves du SKU phare

Priorités :

Hero A — légèreté

7075 / creux / priorité à la masse

Hero B — haut de gamme

Titane / maintenabilité / maîtrise du grippage

Hero C — durabilité

Acier / corrosion / fatigue / revêtement

Pour chaque SKU, établir :

```
01_Plan
02_CAO
03_Matériau
04_Dimension
05_MSA
06_Procédé
07_Revêtement
08_Couple
09_Résistance
10_Corrosion
11_Vibration
12_Assemblage
13_Traçabilité
14_Photos_Produit
15_Photos_Usine
16_Figures_Livre_Blanc
```

13.3 Preuves à clôturer dans le premier lot

P0-1 Capabilité de la portée fonctionnelle

Objectif :

Démontrer la capabilité dimensionnelle réelle de production en série.

P0-2 Traçabilité matière

Objectif :

MTC → SKU → Lot.

P0-3 Revêtement

Objectif :

Système précis + épaisseur + brouillard salin + déclaration chimique.

P0-4 Couple–serrage

Objectif :

Courbe réelle revêtement/lubrification/blocage.

P0-5 Assemblage répété

Objectif :

Cycles de montage/démontage.

P0-6 Blocage

Objectif :

Vibration transversale comparative.

P0-7 Traçabilité

Objectif :

Commande → lot fini → revêtement → CNC → matériau.

13.4 Le livrable final du client est plus qu’un devis

Un projet de pivot mature peut livrer :

1. Devis
2. Revue DFM
3. Plan
4. Certificat matière
5. FAI
6. Spécification de couple/assemblage
7. DVP&R
8. Plan de contrôle
9. Traçabilité

10. Plan d’emballage/de kit de rechange

Cela constitue un :

> **Partenariat d’ingénierie et de fabrication de visserie de pivots de vélos**

Chapitre 14 : conclusions d’ingénierie V2.0

14. Conclusions d’ingénierie

Après un premier examen fondé sur les preuves des normes publiques, recherches évaluées par les pairs et pratiques techniques officielles des marques MTB, ce livre blanc étaye les conclusions robustes suivantes :

Conclusion 1

La visserie de pivot ne peut pas être conçue uniquement selon une logique de fixation standard.

Elle remplit simultanément les fonctions d’un axe de précision, d’une liaison préchargée, d’une interface de roulement et d’une pièce de service.

Conclusion 2

Le couple n’est pas l’effort de serrage.

Tout changement de revêtement, de lubrification, de frein-filet ou de surface conjuguée peut modifier la précharge réelle.[R2][R17]

Conclusion 3

L’ajustement fonctionnel compte davantage qu’une valeur de tolérance isolée.

Le fretting est lié aux faibles mouvements relatifs, à l’ajustement et à l’état de contact.[R5][R6]

Conclusion 4

Le brouillard salin n’est pas une horloge de durée de vie sur le terrain.

L’ISO 9227 elle-même ne permet pas de convertir directement les résultats de brouillard salin en durée de service à long terme.[R19]

Conclusion 5

La corrosion galvanique doit être maîtrisée aux interfaces CFRP/aluminium.

L’isolation des matériaux, les revêtements, les joints et le drainage font tous partie de la conception structurelle.[R11][R28]

Conclusion 6

La valeur haut de gamme du titane exige une maîtrise simultanée du grippage et du frottement de serrage. [R12]

Conclusion 7

Les pièces en acier à haute résistance revêtues par électrolyse exigent une maîtrise de la fragilisation par l’hydrogène. [R20]-[R23]

Conclusion 8

La méthode de fabrication du filetage est une variable d’ingénierie de fatigue. [R3]

Conclusion 9

La maintenabilité n’est pas un complément après-vente ; c’est un KPI de conception du système de pivot. [R9][R10]

Conclusion 10

L’E-MTB exige un spectre de charge indépendant au lieu d’une copie directe de la validation du MTB analogique. [R36]

Annexe A : matrice de sélection des matériaux

Matériau	Densité	Potentiel de résistance	Corrosion	Grippage	Allègement	Rôle type
6061-T6	Faible	Moyen	Bon avec finition	Faible	Élevé	Entretoise / charge modérée
7075-T6	Faible	Élevé	Dépend de l'interface	Faible-moyen	Très élevé	Axe/boulon léger
Ti-6Al-4V	Moyenne	Très élevé	Élevée	Préoccupation élevée	Élevé	Axe/boulon haut de gamme
Acier allié	Élevée	Très élevé	Dépend du revêtement	Faible-moyen	Faible	Forte charge / section compacte
Inoxydable	Élevée	Dépend de la nuance	Élevée	Moyen-élevé	Faible	Corrosion/service

Annexe B : criblage du risque galvanique

> Ce qui suit est un outil de criblage de conception, non un tableau exact des potentiels galvaniques.

Combinaison	Risque humide/salé	Action principale
Al ↔ Al	Moyen	Finition + joint
Al ↔ inoxydable	Moyen-élevé	Isolation + joint
Al ↔ titane	Moyen-élevé	Barrière / joint
CFRP ↔ aluminium	Élevé	Isolation électrique
Titane ↔ inoxydable	Galvanique faible-moyen, revue du grippage	Lubrifiant / service
Acier ↔ aluminium	Moyen-élevé	Revêtement + isolation

Annexe C : matrice d’ingénierie des surfaces

Procédé	Base	Valeur principale	Risque clé
Anodisation	Al	Corrosion / aspect	Accumulation / ajustement
Anodisation dure	Al	Usure / corrosion	Effet dimensionnel
Système Zn	Acier	Corrosion	Fragilisation par l’hydrogène / frottement
Zn-Ni	Acier	Corrosion	Procédé / couple
Lamelles de zinc	Acier	Corrosion / fonction	Ajustement / frottement
PVD	Divers	Usure / aspect	Corrosion dépendante du système
Passivation	Inoxydable	État de surface	La nuance de base reste importante
Antigrippant	Filetage	Réduction du grippage	Réétalonnage du couple

Annexe D : fiche couple–effort de serrage

Projet :
Cadre :
Position du pivot :
Référence :
Révision du plan :
Matériau :
Filetage :
Revêtement :
Lubrification :
Frein-filet :
Matériau du filetage femelle :
Couple cible :
Tolérance de couple :
Serrage cible :
Fenêtre de serrage :
Couple de démontage :
Cycles de réutilisation :

Annexe E : modèle central DVP&R

Exigence	Défaillance	Essai	Méthode	Échantillon	Acceptation	Preuve
Ajustement	Fretting	Dimensionnel + liaison	Interne			
Précharge	Dispersion	Couple–serrage	Inspirée de l'ISO 16047			
Blocage	Autodesserrage	Vibration transversale	Définie par le projet			
Corrosion	Corrosion rouge	NSS	ISO 9227			
Service	Grippage	Assemblage répété	Interne			
Structure	Fatigue	Essai du cadre	ISO/client			

Annexe F : liste de contrôle DFM

Géométrie

- ☐ Plan de cisaillement hors du filetage lorsque requis
- ☐ L'épaulement soutient l'interface fonctionnelle
- ☐ Congé suffisant
- ☐ Transition creuse revue
- ☐ Engagement d'outil suffisant
- ☐ Engagement de filetage suffisant

Ajustement

- ☐ Roulement
- ☐ Portée
- ☐ Entretoise
- ☐ Cadre / biellette
- ☐ Revêtement
- ☐ Empilage final

Matériau

- ☐ Nuance
- ☐ Résistance
- ☐ Fatigue
- ☐ Corrosion
- ☐ Grippage
- ☐ Galvanique

Assemblage

- ☐ Couple
- ☐ Serrage
- ☐ Frein-filet
- ☐ Lubrification
- ☐ Détrompage

Service

- ☐ Couple de démontage

- ☐ Réutilisation
- ☐ Référence de rechange
- ☐ Accès de l’outil
- ☐ Grippage par corrosion

Annexe G : preuves publiques → vérification interne

Allégation d'ingénierie	Étayée par des preuves publiques	PremFixer Fasteners doit vérifier
Couple ≠ serrage	Oui	Nos courbes
Une charge transversale peut desserrer	Oui	Notre liaison
Fretting dû aux micro-mouvements	Oui	Notre ajustement / serrage
La préapplication est éprouvée	Oui	Notre cadence / blocage
Risque galvanique CFRP/Al	Oui	Notre empilage de matériaux
Risque de grippage du titane	Oui	Notre lubrification / démontage
Risque de fragilisation par l'hydrogène	Oui	Notre procédé de dépôt
Mécanisme de fatigue du filetage roulé	Oui	Fatigue de notre produit
Limites du NSS	Oui	Notre rapport de revêtement
L'environnement E-MTB diffère	Oui	Notre spectre de charge

Annexe H : figures recommandées pour le livre blanc

1. Vue éclatée du système de pivot
2. Chemin de charge roulement–axe–entretoise
3. Schéma de chaîne de cotes
4. Fenêtre d'ingénierie couple–effort de serrage
5. Accumulation du revêtement avant/après
6. Courbe de maintien du serrage de type Junker
7. Chemin de corrosion galvanique
8. Architecture d'étanchéité multicouche
9. Arbre de défaillance des craquements
10. Illustration du flux de métal lors du roulage des filetages
11. Iceberg du TCO
12. Niveaux de preuve E0–E5
13. Chaîne de traçabilité des lots
14. Matrice XC / Trail / Enduro / DH / E-MTB

Annexe I : glossaire

Terme	Équivalent courant	Description
Pivot	Point de rotation	Point de rotation de la biellette de suspension
Portée lisse	Axe non fileté	Section d'axe fonctionnelle non filetée
Épaulement	Épaulement de positionnement	Gradin assurant le positionnement ou le support
Effort de serrage	Force de serrage	Force axiale de serrage de la liaison
Précharge	Charge initiale	Charge interne initiale de la fixation
Fretting	Usure par micro-mouvements	Dommage de contact de faible amplitude
Grippage	Grippage adhésif	Usure adhésive sévère ou grippage
Battement	Écart en rotation	Écart géométrique en rotation
Frein-filet	Produit de blocage du filetage	Système de blocage chimique
TCO	Coût total de possession	Coût du cycle de vie
DVP&R	Plan et rapport de vérification de conception	Matrice de validation
CTQ	Critique pour la qualité	Caractéristique qualité critique
MSA	Analyse du système de mesure	Capabilité du système de mesure
Cpk	Indice de capabilité du procédé	Indice de capabilité du procédé

Références

> Cette liste repose sur des métadonnées publiques, des résumés et des informations techniques officielles. Les normes ISO complètes sont protégées par le droit d'auteur ; le présent projet n'en reproduit pas le texte intégral. Avant la publication publique finale, vérifier de nouveau l'URL, la révision et le domaine d'application de chaque source en ligne.

[R1] Yang, G., Yang, L., Chen, J., et al. (2021). *Competitive Failure of Bolt Loosening and Fatigue under Different Preloads*. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 34, 141. DOI: 10.1186/s10033-021-00663-3.
https://link.springer.com/article/10.1186/s10033-021-00663-3

[R2] Croccolo, D., De Agostinis, M., Vincenzi, N. (2011). *Failure analysis of bolted joints: Effect of friction coefficients in torque–preloading relationship*. Engineering Failure Analysis.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630710001676

[R3] du Maire, P., Hoffmeister, J., Öchsner, A., Johlitz, M. (2025). *Investigations On The Fatigue Strength Of Threads Produced By Different Fabrication Techniques*. 15th International Conference on Shot Peening / Purdue e-Pubs. DOI: 10.5703/1288284317919.
https://docs.lib.purdue.edu/icsp15/papers/fatigue1/2/

[R4] Chen, D. et al. (2019). *Tightening behavior of bolted joint with non-parallel bearing surface*. International Journal of Mechanical Sciences.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002074031833409X

[R5] SKF. *Golden opportunities / Fretting Corrosion*.
https://evolution.skf.com/golden-opportunities/

[R6] SKF. *Bearing damage analysis: ISO 15243 is here to help you*.
https://evolution.skf.com/bearing-damage-analysis-iso-15243-is-here-to-help-you/

[R7] Bulej, V., Kuric, I., Sága, M., et al. (2022). *Analysis of Symmetrical/Asymmetrical Loading Influence of the Full-Suspension Downhill Bicycle's Frame...*. Symmetry, 14(2), 255. DOI: 10.3390/sym14020255.
https://www.mdpi.com/2073-8994/14/2/255

[R8] Pivot Cycles. *Mach 429 SL Carbon V3 Hardware / Small Parts Schematic*.
https://portal.pivotcycles.com/portalimages/techspec/Mach%20429%20SL%20V3%20Small%20Parts%20Schematic.pdf

[R9] Santa Cruz Bicycles Rider Support (2026). *Bearing and Pivot Axle Maintenance*.
https://ridersupport.santacruzbicycles.com/how-often-should-i-replace-bearings-and-pivot-axles

[R10] Specialized. Current Stumpjumper 15 product pages — suspension pivot bearing replacement support.
https://www.specialized.com/us/en/stumpjumper-15-expert-sram-gx-axs-fox-performance-elite/p/4221401

[R11] Håkansson, E. et al. (2017). *The role of corrosion product deposition in galvanic corrosion of aluminum/carbon systems*. Corrosion Science.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0010938X16309659

[R12] Szpunar, M. et al. (2021). *Effect of Lubricant Type on the Friction Behaviours and Galling of Titanium Alloy*. Materials, 14(13), 3721.
https://www.mdpi.com/1996-1944/14/13/3721

[R13] Henkel. *Pre-applied adhesives and sealants*.
https://next.henkel-adhesives.com/us/en/articles/pre-applied-adhesives-sealants.html

[R14] Henkel. *LOCTITE DRI 2250-W*.
https://next.henkel-adhesives.com/us/en/products/industrial-adhesives/central-pdp.html/loctite-dri-2250-w/124651IB/variation/2879425.html

[R15] Liu, Z. et al. (2020). *Changing behavior of friction coefficient for high strength bolted joints during repeated tightening*. Tribology International.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301679X20303212

[R17] ISO 16047:2005 + Amd 1:2012. *Fasteners — Torque/clamp force testing*.
https://www.iso.org/standard/27788.html

[R18] ISO 16130:2015. *Aerospace series — Dynamic testing of the locking behaviour of bolted connections under transverse loading conditions*.
https://www.iso.org/standard/55728.html

[R19] ISO 9227:2022. *Corrosion tests in artificial atmospheres — Salt spray tests*.
https://www.iso.org/standard/81744.html

[R20] ISO 4042:2022. *Fasteners — Electroplated coating systems*.
https://www.iso.org/standard/77913.html

[R21] ISO 4042:2022/Amd 1:2026. *Fasteners — Electroplated coating systems — Amendment 1*.
https://www.iso.org/standard/91743.html

[R22] ISO 15330:1999. *Fasteners — Preloading test for the detection of hydrogen embrittlement — Parallel bearing surface method*.
https://www.iso.org/ics/21.060.01.html

[R23] ISO/TR 20491:2019. *Fasteners — Fundamentals of hydrogen embrittlement in steel fasteners*.
https://www.iso.org/ics/21.060.01.html

[R24] ISO 10683:2018. *Fasteners — Non-electrolytically applied zinc flake coating systems*.
https://www.iso.org/standard/70609.html

[R25] ISO 3506-1:2020. *Fasteners — Mechanical properties of corrosion-resistant stainless steel fasteners — Part 1*.
https://www.iso.org/standard/70045.html

[R26] ISO/TR 19852:2026. *Neutral salt spray test — Results of an international interlaboratory test and conclusions for practical application*.
https://www.iso.org/standard/86004.html

[R27] ISO 14993:2026. *Corrosion of metals and alloys — Accelerated test involving cyclic exposure to salt mist, dry and wet conditions*.
https://www.iso.org/standard/89968.html

[R28] Jun, J. et al. (2021). *Mitigation of Galvanic Corrosion in Bolted Joint of AZ31B and Carbon Fiber-Reinforced Composite Using Polymer Insulation*. Materials, 14(7), 1670.
https://www.mdpi.com/1996-1944/14/7/1670

[R29] Santa Cruz Bicycles Rider Support (2026). *Stop the Creak: A Guide to Silencing Your Bike*.
https://ridersupport.santacruzbicycles.com/creaking

[R30] Directive 2011/65/EU (RoHS).
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011L0065

[R31] ISO 14021:2026. *Environmental statements and programmes for products — Self-declared environmental claims*.
https://www.iso.org/obp/ui/

[R32] ISO (2026). *New ISO standards bring clarity to chain of custody*.
https://www.iso.org/contents/news/2026/03/new-iso-standards-bring-clarity.html

[R33] ECHA. *Candidate List of Substances of Very High Concern*.
https://chem.echa.europa.eu/

[R34] ISO 4210-2:2023. *Cycles — Safety requirements for bicycles — Part 2*.
https://www.iso.org/standard/78077.html

[R35] ISO 4210-6:2023. *Cycles — Safety requirements for bicycles — Part 6: Frame and fork test methods*.
https://www.iso.org/standard/78081.html

[R36] Trek Bicycle Corporation. *Rail+ — High-powered e-MTB*. Current public product overview.
https://www.trekbikes.com/us/en_US/rail-plus-high-powered-emtb/

Remplacements de preuves PremFixer Fasteners requis avant publication externe

Les points suivants ne doivent pas être élevés au rang d'allégations commerciales définitives tant que des preuves propriétaires n'ont pas été obtenues :

- ☐ Capabilité stable de production à ±0.008 mm
- ☐ Cpk ≥1.33 sur les CTQ sélectionnées
- ☐ Nombre précis d'heures de brouillard salin
- ☐ Performance précise de corrosion Zn-Ni / PVD
- ☐ Courbe couple–effort de serrage
- ☐ Maintien du serrage sous vibration
- ☐ Nombre de cycles de réutilisation
- ☐ Couple de démontage du titane après vieillissement
- ☐ Maîtrise de la fragilisation par l'hydrogène de l'acier allié
- ☐ Gain de cadence par préapplication
- ☐ Couverture de détection AOI / PPM
- ☐ Enregistrements réels de prototypes en 7–10 jours
- ☐ Cas de réduction de nomenclature/SKU
- ☐ Cas client TCO
- ☐ Données de garantie/terrain

Conclusion

Le système de pivot d'un vélo tout-suspendu haute performance ne doit plus être réduit dans la chaîne d'approvisionnement à :

> **« Demande de devis pour des boulons spéciaux M8 / M10 / M12. »**

Les véritables questions d'ingénierie sont :

- D'où provient la charge de la liaison ?
- Quel est l'effort de serrage ?
- Comment le roulement est-il supporté ?
- Quelle interface peut subir un micro-glissement ?
- Dans quelle mesure le revêtement modifie-t-il le frottement ?
- Le titane grippera-t-il ?
- Le dépôt sur l'acier présente-t-il un risque de rupture différée ?
- Comment le carbone et l'aluminium sont-ils isolés ?
- Comment la boue et l'eau sont-elles exclues ?
- La liaison pourra-t-elle être démontée normalement après deux ans ?
- En cas de défaillance, peut-elle être tracée ?

Lorsque chacune de ces questions peut recevoir une réponse au moyen de :

Plan + calcul + essai + données + traçabilité

la visserie de pivot passe véritablement de la « quincaillerie de faible valeur » à :

> **Un sous-système mécanique maîtrisé au service de la fiabilité du vélo.**

L'objectif de PremFixer Fasteners V2.0 est donc clair :

> **Ne pas simplement fabriquer un boulon conforme à un plan, mais établir un système d'ingénierie de visserie de pivot de vélo vérifiable, productible en série, maintenable et traçable.**

FIN DE L'ÉDITION V2.0 – PREUVES — CORPS FORMEL