

ENGINEERING  
TOMORROW

*Danfoss*

# Surveillance conditionnelle grâce aux variateurs intelligents

## Évolution des **systèmes d'automatisation industrielle**

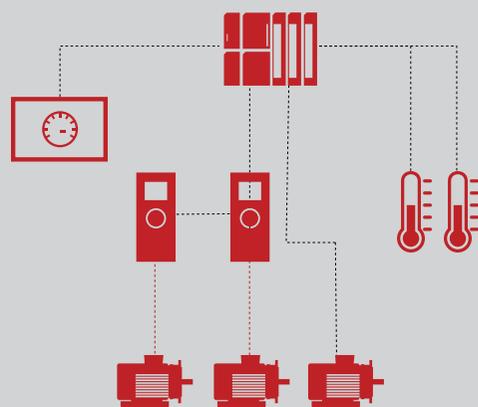
Lors du passage au millénaire actuel, nous avons observé de profondes évolutions technologiques qui ont conduit à une toute nouvelle façon de travailler dans un monde numérique. Il s'agit de la quatrième révolution industrielle. La première, survenue aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, fut une révolution mécanique, déclenchée par l'invention de la machine à vapeur. À la fin du XIX<sup>e</sup> et au début du XX<sup>e</sup> siècle, la deuxième révolution industrielle eut lieu avec l'apparition de la production de masse, de l'électrification et de changements dans le domaine de la communication. Cette période est également appelée la « révolution électrique ». Plus tard au cours du XX<sup>e</sup> siècle, la troisième révolution industrielle a permis des avancées dans le domaine des semi-conducteurs, de l'informatique, de l'automatisation et d'Internet. Cette phase est également connue sous le nom de « révolution numérique ».

La quatrième révolution industrielle est née de la mise en réseau d'ordinateurs, d'individus et de dispositifs alimentés par des données ainsi que de l'apprentissage automatique. Bien que le terme « industrie 4.0 » soit assez vague, il est possible de le définir comme étant la mise en réseau intelligente d'individus, de dispositifs et de systèmes, en exploitant toutes les possibilités de la numérisation tout au long de la chaîne de valeur.

## Tendances dans les **systèmes d'automatisation de l'industrie 4.0**

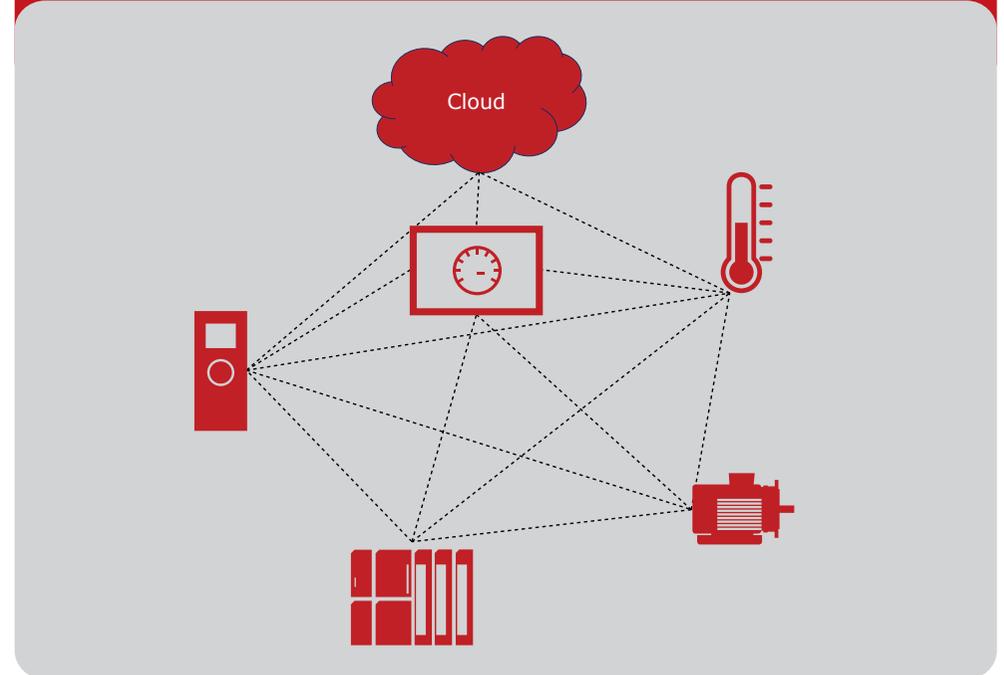
L'impact de l'industrie 4.0 sur les systèmes moteurs se traduit par une migration de la « pyramide d'automatisation » vers des « systèmes en réseau ». Cela signifie que les différents éléments du système, tels que les moteurs, les variateurs, les capteurs et les commandes, sont interconnectés et connectés à un cloud – un centre d'hébergement où les données sont stockées, traitées et analysées, mais aussi où des décisions sont prises.

**Illustration : pyramide d'automatisation**





### Illustration : réseau d'automatisation



Dans un réseau d'automatisation, la quantité de données est importante. Comme les données sont principalement fournies par des capteurs, le nombre de ces capteurs dans les systèmes d'automatisation modernes augmente. Les moteurs et les machines entraînés tels que les ventilateurs, les pompes et les convoyeurs ne sont pas les intervenants les plus faciles dans un réseau de données. Des capteurs sont donc nécessaires pour collecter les données de ces machines. Les capteurs sont connectés au réseau de données qui a recours à divers moyens pour utiliser ces informations. Lors de l'introduction d'un système avancé de surveillance de l'état, le coût supplémentaire des capteurs et de la connectivité est souvent considéré comme un frein.

Les variateurs à vitesse variable modernes ouvrent de nouvelles opportunités dans le réseau d'automatisation de l'industrie 4.0. Traditionnellement, les variateurs étaient considérés comme des processeurs de puissance servant à contrôler la vitesse du moteur. Aujourd'hui, les variateurs font également partie de la chaîne d'information en tirant profit de l'utilisation de la puissance de traitement intégrée, la capacité de stockage et l'interface de communication au sein même du variateur.

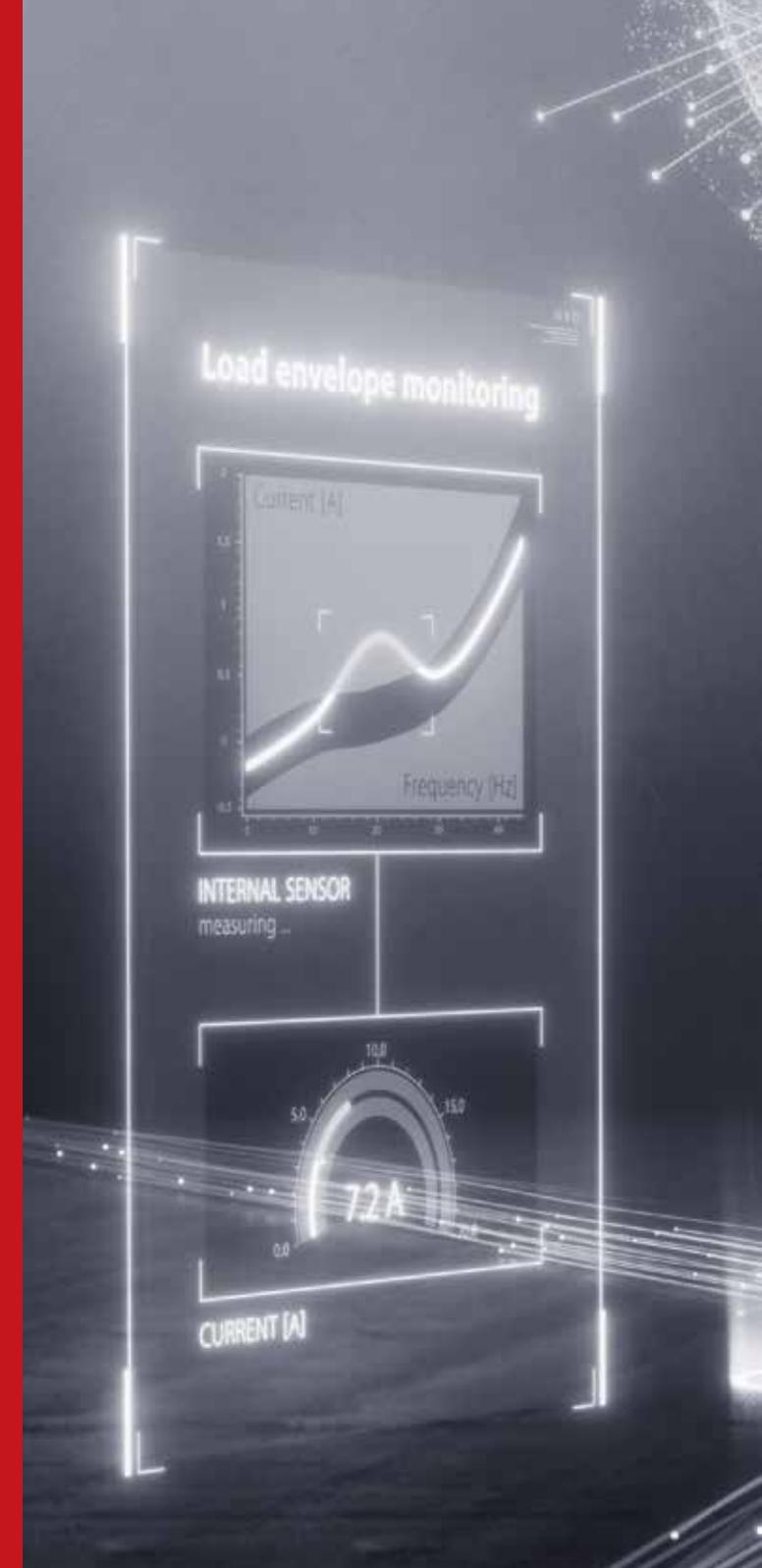
## Qu'est-ce qu'un **variateur intelligent** ?

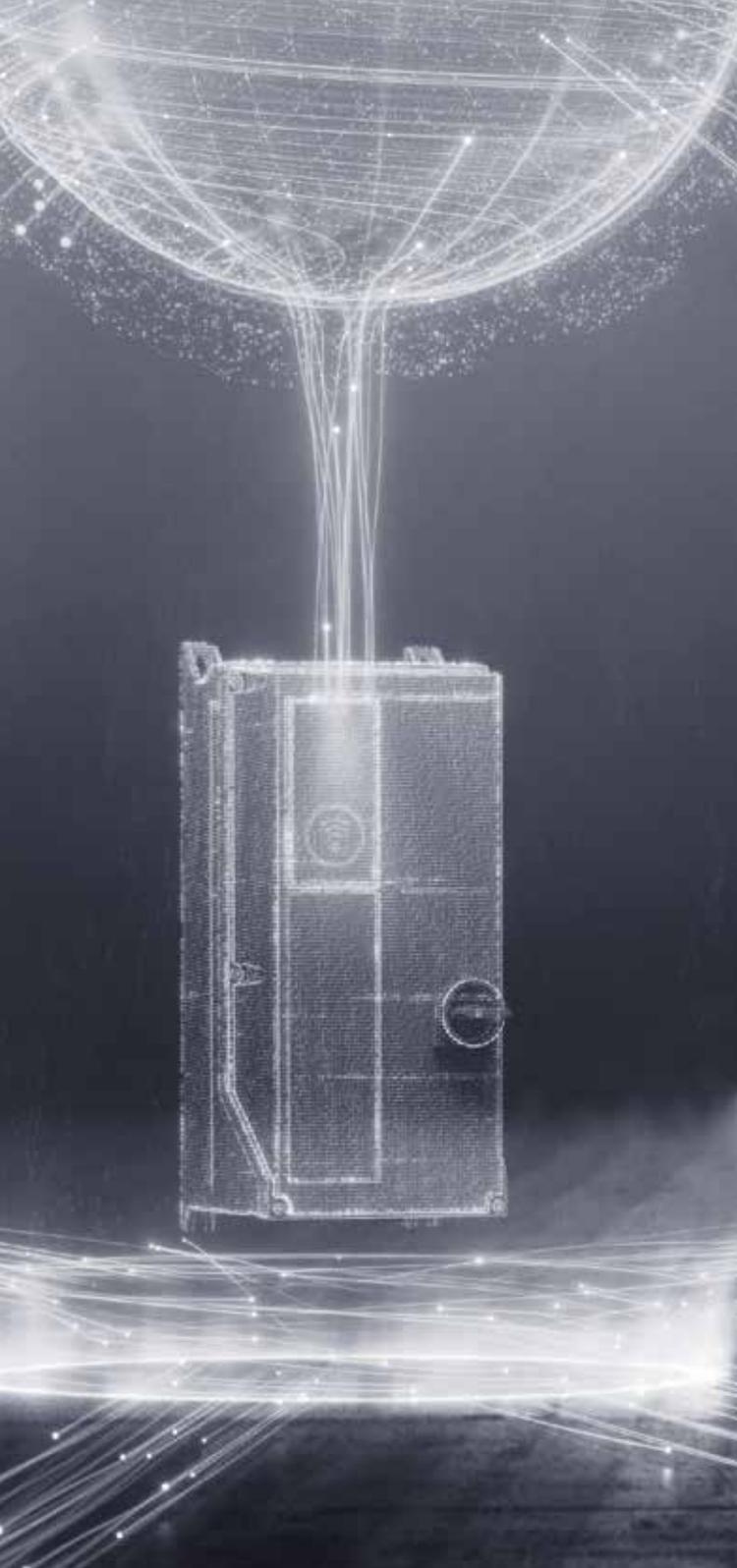
Dans le réseau de l'industrie 4.0, le variateur joue un rôle important et se caractérise par certaines fonctionnalités :

- **Connectivité sécurisée** : le variateur peut se connecter à d'autres éléments de manière sécurisée. Les autres éléments du réseau peuvent inclure des variateurs, des PLC, des capteurs et un cloud.
- **Le variateur agit comme un capteur** : le variateur utilise une analyse de signature de courant et de tension du moteur pour détecter les performances du moteur et de l'application.
- **Le variateur agit comme un concentrateur de capteurs** : le variateur recueille les données de capteurs externes liés au processus qui est contrôlé par le variateur.
- **Le variateur agit comme un contrôleur** : le variateur peut remplacer le PLC lorsque les contraintes d'application le permettent.
- **Utilisez votre propre dispositif** : connectivité sans fil aux dispositifs intelligents (smartphone, tablette).

Les informations du variateur peuvent être identifiées comme suit :

- **Signaux instantanés** : signaux qui sont directement mesurés par le variateur à l'aide de capteurs intégrés. Des données telles que le courant du moteur, la tension, la température du variateur et leur dérivé, qui est la puissance représentée par la somme du courant et de la tension, ou du couple moteur. De plus, le variateur peut être utilisé comme concentrateur en vue d'y connecter des capteurs externes qui fournissent des signaux instantanés.
- **Signaux traités** : signaux dérivés des signaux instantanés. Par exemple, la distribution statistique (valeurs maximale, minimale, moyenne et standard de l'écart), l'analyse du domaine fréquentiel ou les indicateurs de profil de mission.
- **Signaux analytiques** : signaux qui fournissent des indications sur l'état du variateur, du moteur et de l'application. Ces signaux servent à favoriser la maintenance ou à induire des améliorations de la conception du système.





Les techniques d'analyse de la signature du courant moteur permettent au variateur de surveiller l'état du moteur et de l'application. La technique peut potentiellement permettre d'éliminer des capteurs physiques ou d'extraire des signatures de défauts précoces qui n'auraient pas pu être détectées. L'utilisation de cette technique permet par exemple de détecter à l'avance les défauts d'enroulement ou de la charge mécanique excentrique.

Le concept du variateur en tant que concentrateur de capteurs implique la connexion de capteurs externes au variateur, évitant ainsi la nécessité d'une passerelle pour connecter le capteur physique au réseau de données. Les capteurs de vibration, les capteurs de pression et les capteurs de température sont des exemples de capteurs qui peuvent être connectés au variateur. L'avantage de ce concept n'est pas seulement d'ordre financier. Il permet également de mettre les données du capteur en corrélation avec différents types de données présentes dans le variateur. La corrélation du niveau de vibration d'un capteur externe avec la vitesse du moteur en est un exemple évident, les vibrations étant tributaires de la vitesse.

## Maintenance **conditionnelle**

Voici différents types de stratégies en matière de maintenance :

- **Maintenance corrective** : le produit est remplacé après un défaut.
- **Maintenance préventive** : le produit est remplacé avant qu'un défaut n'apparaisse, bien que le produit n'ait émis aucun signal.
- **Maintenance conditionnelle** : le produit émet un avertissement lorsque sa durée de vie réelle varie par rapport à sa durée de vie théorique. Les causes principales possibles sont indiquées.
- **Maintenance prédictive** : le produit émet un avertissement avant d'atteindre le nombre d'heures de fonctionnement défini, et ce, afin qu'une action de maintenance soit entreprise.

## Pourquoi la **maintenance conditionnelle est-elle nécessaire ?**

Les maintenances correctives et préventives se fondent sur un défaut (événement) ou sont basées sur une durée. Par conséquent, la maintenance a lieu en cas de défaut(s) (maintenance corrective) ou après un nombre prédéfini d'heures de fonctionnement (maintenance préventive). Ces types de maintenance n'utilisent aucun signal qui pourrait provenir de l'application.

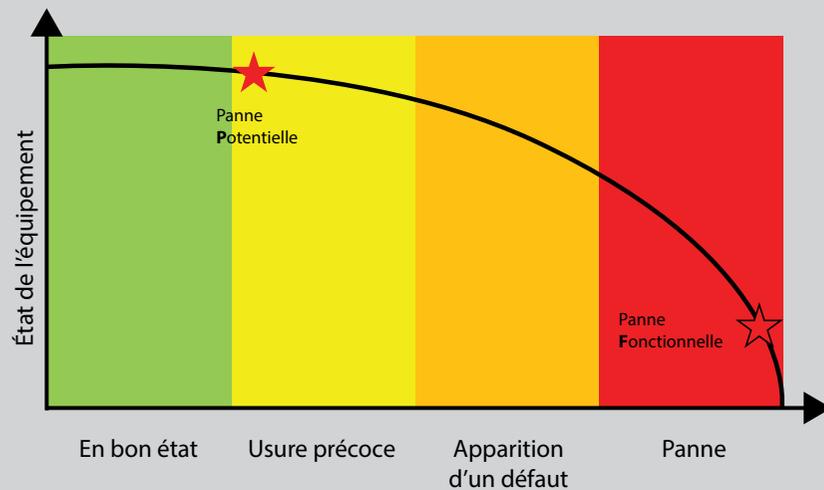
Avec l'introduction de l'industrie 4.0 et la disponibilité des données des capteurs, la maintenance conditionnelle et prédictive est désormais possible. De telles stratégies de maintenance utilisent les données réelles du capteur pour déterminer l'état de l'équipement en service (maintenance conditionnelle) ou pour prévoir les futures pannes (maintenance prédictive).

## Maintenance conditionnelle

### Vue d'ensemble et avantages

La maintenance conditionnelle est la technique de maintenance la plus simple et la plus intuitive. Elle repose sur les données de l'application elle-même. Les données acquises sont utilisées pour surveiller l'état des équipements en service. À cette fin, des paramètres clés sont sélectionnés comme indicateurs afin d'identifier l'apparition des défauts. L'état d'un équipement se dégrade généralement avec le temps. C'est illustré par la courbe P-f qui montre un schéma de dégradation typique. Une panne fonctionnelle se produit lorsque l'équipement ne parvient pas à exécuter la fonction prévue. La maintenance conditionnelle sert à détecter la panne potentielle avant qu'une véritable panne se produise.

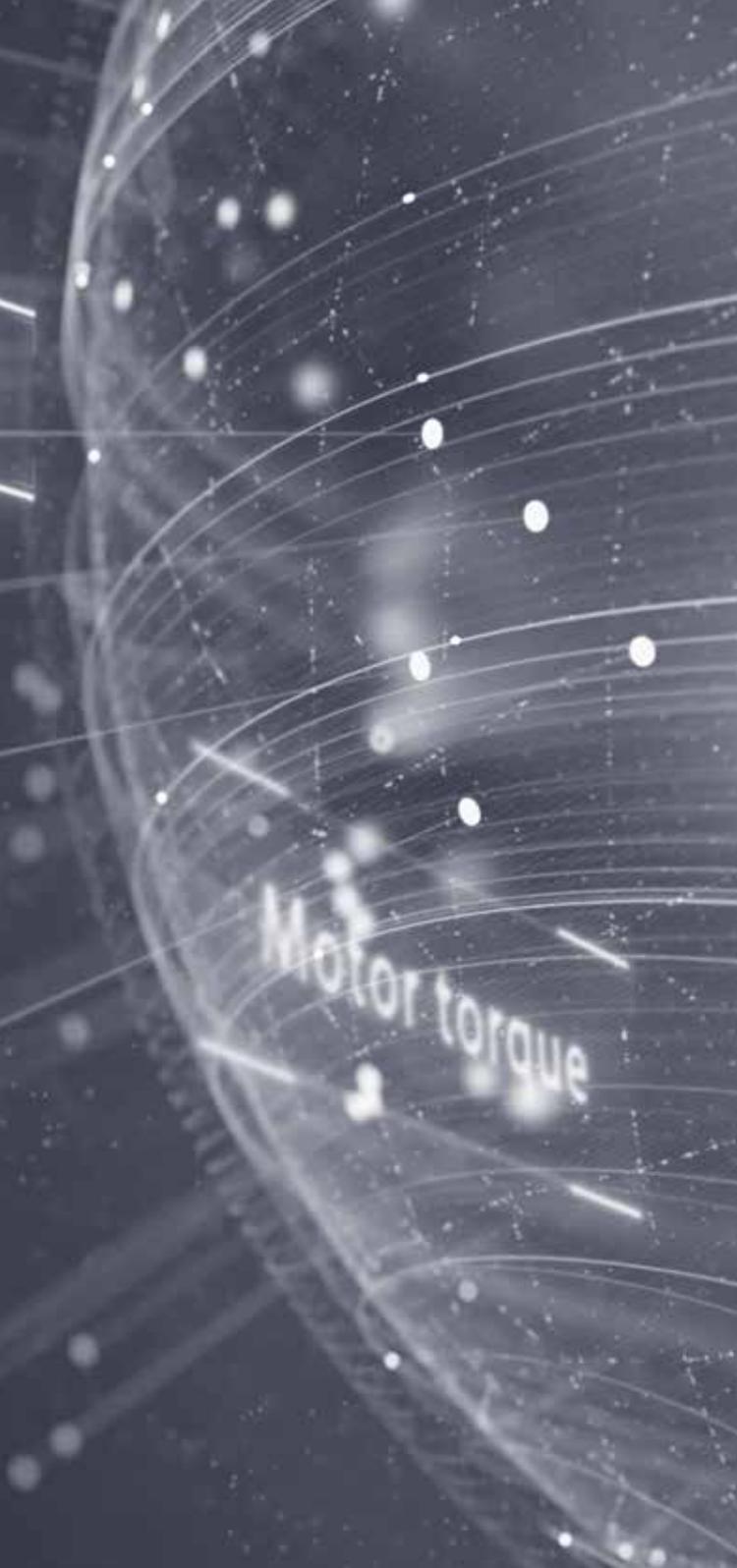
Illustration : courbe P-f représentant un schéma de dégradation typique



Dans ce cas, la planification d'actions de maintenance présente de nombreux avantages tels que :

- **Réduction des temps d'arrêt**
- **Élimination des arrêts de production inattendus**
- **Optimisation de la maintenance**
- **Réduction du stock de pièces détachées**





## Fonctions de surveillance d'état pour variateurs à vitesse variable

Une composante à part entière de la maintenance conditionnelle consiste à surveiller l'état de l'équipement. Dans les applications à vitesse variable, l'état de l'application est souvent tributaire de la vitesse. Par exemple, les niveaux de vibration ont tendance à augmenter à des vitesses plus élevées, bien que cette relation ne soit pas linéaire. En effet, des résonances peuvent se produire à certaines vitesses, puis disparaître lorsque la vitesse est augmentée.

L'utilisation d'un système indépendant en vue de surveiller l'état d'une application à vitesse variable est compliquée car la vitesse et la valeur surveillée en corrélation avec la vitesse doivent être connues. L'utilisation de variateurs pour la surveillance de l'état (« variateur en tant que capteur » ou « variateur en tant que concentrateur de capteurs ») est une solution avantageuse, car les informations sur la vitesse de l'application sont déjà présentes dans le variateur. De plus, des informations sur le couple de charge/du moteur et sur l'accélération sont facilement disponibles dans le variateur.

## La surveillance de l'état suit **une procédure en trois étapes :**

1. Déterminer un point de référence
2. Définir les valeurs initiales
3. Effectuer la surveillance

### Établir **un point de référence**

Pour qu'un système de surveillance d'état soit efficace, la première étape importante consiste à déterminer et à définir les conditions normales de fonctionnement. L'établissement d'un point de référence consiste à définir l'état de fonctionnement normal de l'application, lequel est appelé « point de référence ». Il existe plusieurs façons de déterminer les valeurs du point de référence.

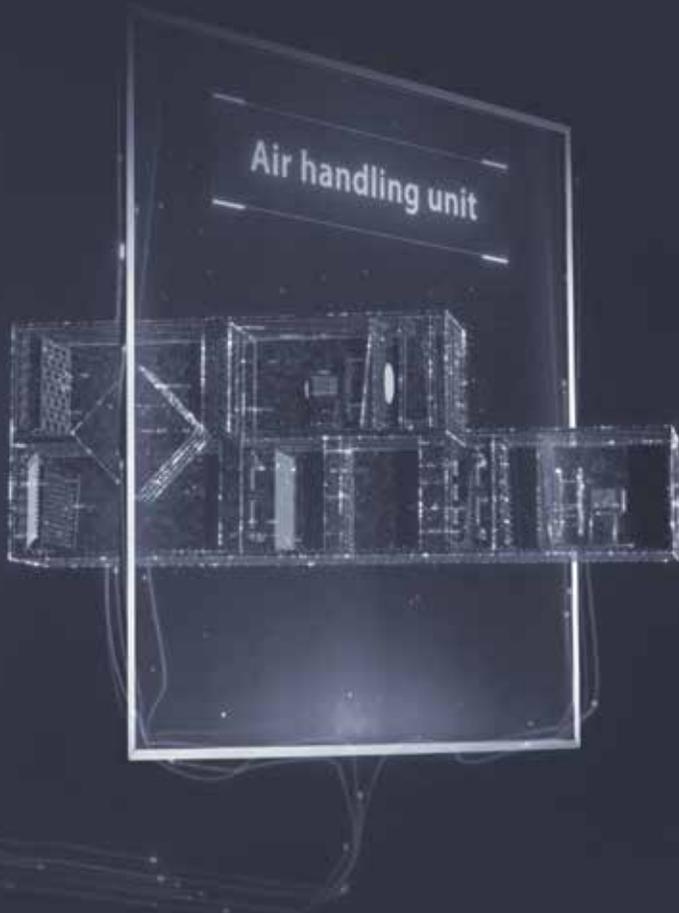
**Point de référence manuel :** lorsque les valeurs du point de référence sont définies sur la base d'une expérience antérieure, les valeurs connues sont programmées dans le variateur.

**Mesure de référence :** le point de référence peut être déterminé lors de la mise en service. Lorsque cette méthode est utilisée, un balayage de vitesse est effectué dans la plage de vitesse pertinente, déterminant ainsi l'état à chaque point de vitesse. Cependant, lors de la mise en service, il arrive parfois que l'application ne fonctionne pas à pleine capacité ou qu'une période de rodage soit nécessaire. Dans ces cas-là, l'exécution de référence doit être effectuée après la période de rodage afin de capturer un état de fonctionnement aussi proche que possible d'un fonctionnement normal.

**Point de référence en ligne :** il s'agit d'une méthode avancée qui capture les données de référence pendant le fonctionnement normal. Cette méthode est utile lorsqu'une mesure de référence ne peut pas être effectuée, car l'application ne permet pas d'explorer toute la plage de vitesse.

Après avoir établi le point de référence, l'étape suivante consiste à déterminer les seuils déclenchant les différents avertissements et alarmes. Les seuils indiquent l'état de l'application pendant lequel l'utilisateur doit être averti. Il existe différentes façons d'indiquer l'état de l'équipement et l'un des plus populaires de l'industrie utilise un statut de type feu de signalisation, avec quatre couleurs, lequel est décrit dans la **spécification VDMA 24582 Référence neutre du bus de terrain pour la surveillance de l'état dans l'automatisation d'usine.**





Les couleurs signifient ce qui suit :

- **Vert** : indique que l'équipement est en bon état et fonctionne de manière efficace.
- **Jaune** : indique un avertissement de niveau 1 et signifie que le premier seuil est dépassé. Une action de maintenance peut être planifiée par le personnel de maintenance.
- **Orange** : indique un avertissement de niveau 2 ou un état critique et signifie que le deuxième seuil est dépassé. Une intervention de maintenance immédiate doit être effectuée par le personnel de maintenance.
- **Rouge** : indique une alarme et signifie que la machine va s'arrêter et qu'une maintenance corrective est nécessaire.

## Définir les seuils de déclenchement des **avertissements et alarmes**

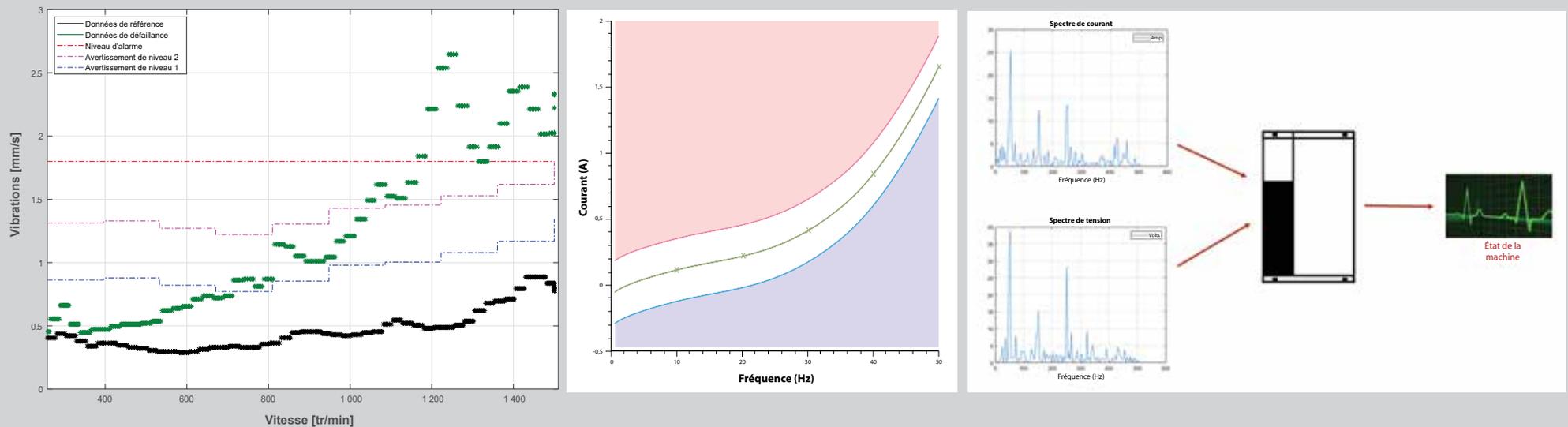
Les méthodes suivantes permettent de définir les valeurs limites :

- **Absolu** : c'est la méthode courante lorsque les valeurs de l'équipement sont déjà connues. Le seuil a une valeur fixe, quelle que soit la valeur de référence mesurée. Par exemple, lorsque l'opérateur connaît la limite absolue de l'équipement, une valeur absolue est définie pour le seuil d'alarme. Dans le cas de la surveillance des vibrations, les valeurs limites décrites dans des normes telles qu'ISO 10816/20816 peuvent être utilisées comme valeur absolue du seuil d'alarme.
- **Écart** : la méthode de définition des valeurs seuil nécessite de bien comprendre l'application et les valeurs de référence. Le seuil dépend de la valeur de référence par rapport à laquelle un écart défini par l'utilisateur est choisi. Dans ce cas, le risque est de définir une valeur très faible ou très élevée conduisant à de faux positifs. Des paramètres erronés peuvent entraîner l'absence de réaction lors de la surveillance, même en cas de défaut.
- **Facteur** : cette méthode est plus facile à utiliser que l'écart, car elle nécessite une moins grande compréhension de l'application. Le seuil dépend de la valeur de référence qui est multipliée par un facteur. Par exemple, la valeur seuil peut être de 150 % du point de référence. Dans ce cas, le risque est de fixer un seuil très élevé.

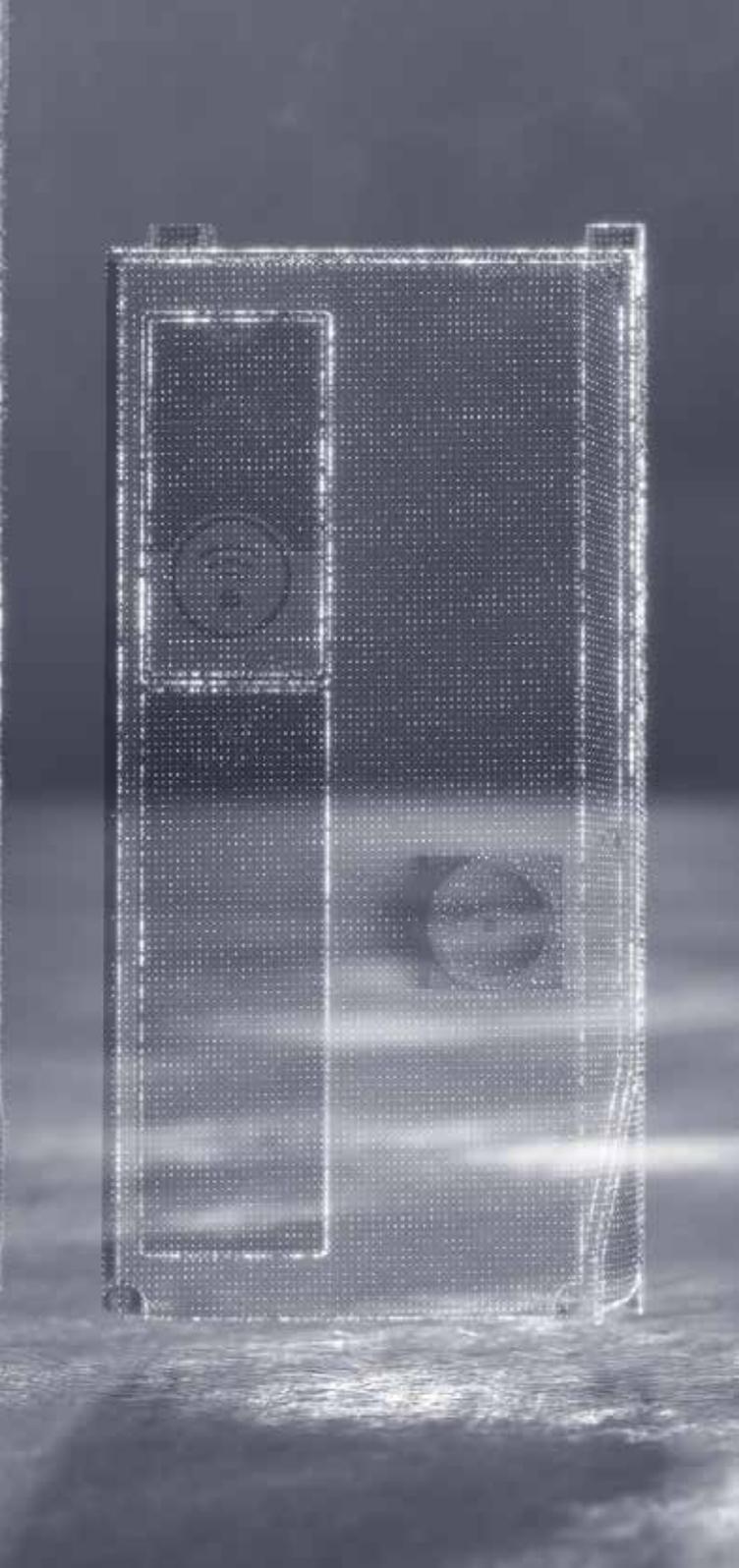
# Surveillance

La surveillance se traduit par une comparaison continue entre les valeurs observées et les valeurs initiales. En cas de fonctionnement normal, les valeurs réelles sont comparées à la valeur initiale. Lorsque les paramètres surveillés dépassent un certain seuil pendant une durée prédéfinie, un avertissement ou une alarme est activé(e). Le minuteur est configurée pour agir comme un filtre, de sorte que les périodes transitoires ne déclenchent pas d'avertissements ni d'alarmes.

## Illustration : techniques de surveillance conditionnelle



Les valeurs surveillées réelles peuvent être lues à partir du variateur via le LCP, la communication par bus de terrain ou la communication IoT. De plus, les sorties digitales peuvent être configurées pour réagir à des avertissements et alarmes spécifiques. Certains variateurs ont un serveur Internet intégré qui peut également être utilisé pour lire le statut relatif à la condition.



## Conclusion

Aujourd'hui, les variateurs sont plus que de simples processeurs de puissance. Dotés de la capacité d'agir comme des capteurs ou des concentrateurs de capteurs, capables de traiter, de stocker et d'analyser des données, ainsi que leur faculté de connectivité, les variateurs sont des éléments essentiels dans les systèmes d'automatisation modernes.

Les variateurs sont souvent déjà présents dans les installations d'automatisation et offrent donc une excellente opportunité de mise à niveau vers l'industrie 4.0.

Cela permet de recourir à de nouvelles façons d'effectuer la maintenance, comme la maintenance conditionnelle. Ces fonctions sont déjà disponibles sur certains variateurs et les premiers utilisateurs ont déjà commencé à utiliser le variateur comme un capteur.

ENGINEERING  
TOMORROW

*Danfoss*

Rendez-vous sur **danfoss.com** pour en savoir plus

---

Danfoss n'assume aucune responsabilité quant aux erreurs qui se seraient glissées dans les catalogues, brochures ou autres documentations écrites. Dans un souci constant d'amélioration, Danfoss se réserve le droit d'apporter sans préavis toutes modifications à ses produits, y compris ceux se trouvant déjà en commande, sous réserve, toutefois, que ces modifications n'affectent pas les caractéristiques déjà arrêtées en accord avec le client. Toutes les marques de fabrique de cette documentation sont la propriété des sociétés correspondantes. Danfoss et le logotype Danfoss sont des marques de fabrique de Danfoss A/S. Tous droits réservés.

---

**VLT**® | **VAGON**®

Danfoss Drives · DKDD.PM.428.A1.04 © Copyright Danfoss | 02.2020