



Des lignes haute tension sous bonne garde

Nouvelle génération de téléprotections NSD570 d'ABB

ROMEO COMINO,

MICHAEL STRITTMATTER –

La téléprotection est vitale pour les systèmes électriques modernes dont elle assure le fonctionnement fiable, sûr et rentable, grâce à des signalisations de protection qui isolent et éliminent rapidement, de façon sélective, les défauts de ligne. Or cette sûreté de fonctionnement pourrait être remise en cause par le déploiement récent des réseaux de communication étendus sur Ethernet/IP, par nature « non déterministes ». ABB jouit d'une longue expérience de la téléprotection et des communications au sein des systèmes électriques, qui en fait un acteur de premier plan dans le développement de nouvelles interfaces de téléprotection sur réseaux Ethernet/IP pour sa plate-forme NSD570.

Les perturbations et défauts des systèmes électriques peuvent engendrer de graves incidents et pannes affectant des régions entières, voire tout un pays. Ces pertes de réseau ainsi que leurs retombées sur la continuité de la fourniture ou sur l'économie sont inacceptables pour notre société, très tributaire de son alimentation électrique. Il est donc primordial de les éviter coûte que coûte ; à cette fin, l'isolement et l'élimination rapide des défauts sont des exigences fondamentales de tout schéma de protection d'un réseau électrique.

Les protections doivent pour cela satisfaire à quatre critères : sensibilité, réactivité, sélectivité et fiabilité. Les plans de protection, en particulier pour les lignes de transport à haute tension (HT), remplissent rarement la totalité de ces conditions sans faire appel aux télécommunications.

L'architecture type d'un système de protection de ligne HT se décompose en relais de protection, équipements de téléprotection et réseau de télécommunication → 1. La téléprotection, qui assure l'interface physique entre l'infrastructure télécoms et les relais de

Les protections doivent satisfaire aux exigences de sensibilité, de réactivité, de sélectivité et de fiabilité pour éliminer les défauts du système électrique.

protection, est le passage obligé des signaux ou « commandes de déclenchement » émis par les relais de protection ; elle garantit également le respect des critères de réactivité et de sélectivité, en cas de défaut dans le système électrique.

À nouvelles menaces, nouvelles parades

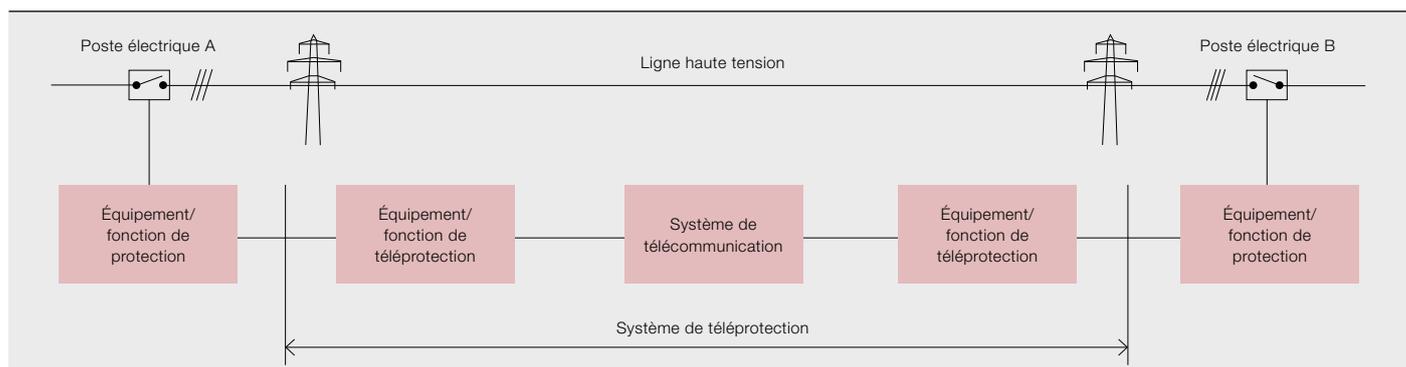
Aucun système de télécommunication n'étant à l'abri de perturbations et de dégradations de toutes sortes (gigue et erreurs sur les bits en transmission

Photo ci-contre

Les fournisseurs d'énergie s'inquiètent du manque de déterminisme d'Ethernet qui peut pénaliser la transmission des signaux de protection dans les postes électriques.

Pour le système de protection, les perturbations du canal de télécommunication ne doivent jamais simuler de commande, côté réception, quand aucun signal de commande n'a été transmis (*sécurité*), ni retarder indûment ou même supprimer une commande bel et bien transmise (*fiabilité*).

1 Architecture type d'un système de protection



numérique, effet de couronne et affaiblissement du signal sur liaison à courants porteurs), la performance de la téléprotection s'exprime dans ces conditions en trois termes : *sécurité*, *fiabilité* et *temps de transmission*.

Un critère primordial est la « bande passante » en analogique ou le « débit » sur les liaisons numériques ou Ethernet : l'augmentation de cette caractéristique écourte proportionnellement le temps de transmission assuré par l'équipement de téléprotection.

Pour le système de protection, les perturbations du canal de télécommunication ne doivent en aucun cas simuler de commande, côté réception, quand aucun signal de commande n'a été transmis (*sécurité*), ni retarder indûment ou même supprimer une commande bel et bien transmise (*fiabilité*).

À cet égard, tout équipement de téléprotection se pliera aux exigences de sécurité, fiabilité et temps de transmission de la norme CEI 60834-1 [1].

Ces trois paramètres, auxquels s'ajoute le débit (aussi appelé « bande passante » par abus de langage), sont interdépendants. Or une sécurité et une fiabilité élevées sont antinomiques avec un temps de transmission court et un faible débit (bande de fréquence étroite). Il faut donc

La nouvelle génération d'équipements de téléprotection NSD570 d'ABB est prête à transmettre sur Ethernet avec une interface à 10/100 Mbit/s.

trouver un compromis entre sécurité, fiabilité et temps de transmission, suivant le schéma de protection mis en œuvre (déclenchement à autorisation, déclenchement direct ou blocage).



Autre critère d'importance : la disponibilité du canal de transmission pour exécuter à tout moment la fonction requise, dans l'intervalle de temps spécifié [2]. Le taux de disponibilité du système de télécommunication d'une téléprotection doit être d'au moins 99,99 %. Atteindre cet objectif stratégique ne va pas sans une connaissance approfondie des techniques de télécommunication utilisées. Il est en outre essentiel de bien concevoir le réseau et de le doter de mécanismes d'autocicatrisation ou de reprise d'activité, ainsi que des modes de redondance et plans de secours nécessaires.

Au-delà de cette exigence, la compatibilité électromagnétique (CEM) du système de téléprotection et son immunité aux transitoires rapides et autres parasites environnants sont cruciales. Toute la téléprotection et son matériel doivent être conçus pour résister à ces perturbations quand survient un défaut dans le système électrique, c'est-à-dire au moment précis où leur fiabilité de transmission des commandes est capitale.

Téléprotection multisupport

La téléprotection emprunte plusieurs types de support de transmission, le plus souvent sur liaisons point à point :

- Courants porteurs sur ligne d'énergie (CPL) ;
- Fibres optiques ;

- Câbles cuivre/pilotes ;
- Liaisons radioélectriques.

L'interface physique entre équipements de téléprotection et terminal de transmission est soit un circuit analogique à fréquences vocales, soit un circuit numérique/optique à 64 kbit/s, par exemple → 3.

La nouvelle génération de téléprotection NSD570 d'ABB intègre tout un ensemble d'interfaces avec ce système de télécommunication et peut dès aujourd'hui assurer également la connectivité Ethernet avec une interface à 10/100 Mbit/s (cf. *infra*).

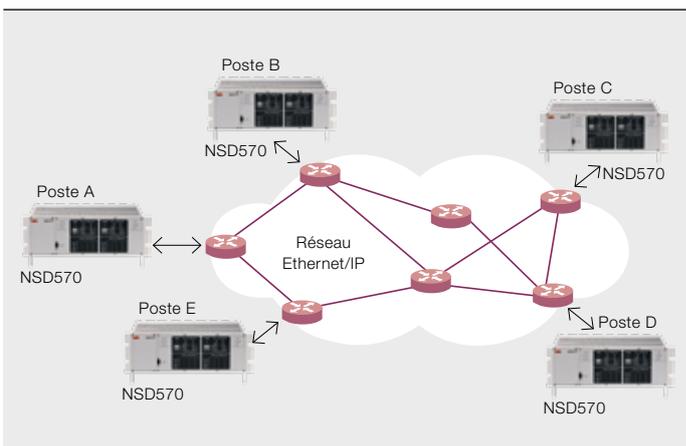
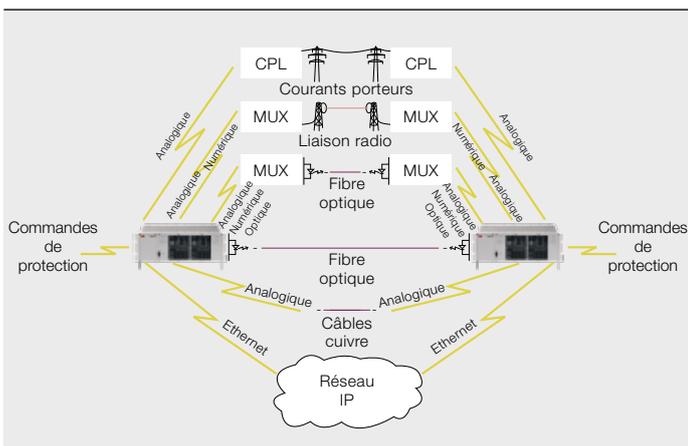
Téléprotection et réseaux Ethernet/IP : liaison dangereuse ?

Les systèmes de téléprotection s'appuient normalement sur des canaux de communication « déterministes » (temps de transmission des données borné et garanti) avec une bande passante ou un débit binaire constant dans le temps, sans variation des délais. Les techniques de multiplexage statique, en transmission PDH¹ et SDH (cf. « Acronymes » p.25),

Note

¹ Réseau dans lequel les flux de données sont quasiment, mais imparfaitement synchronisés (du grec *plesio* signifiant *presque*).

Les systèmes de téléprotection s'appuient sur des canaux de communication « déterministes » (temps de transmission connu à l'avance), à bande passante constante.



ABB, acteur majeur de la téléprotection, a développé pour sa plateforme NSD570 une nouvelle gamme d'interfaces destinées à la signalisation de protection et à la télégestion sur réseaux Ethernet/IP.

satisfont à cette exigence et sont employées depuis des décennies dans les réseaux de communication longue distance des fournisseurs d'énergie.

Le récent déploiement du multiplexage statistique, qui met en œuvre de nouvelles techniques d'allocation de bande passante à la demande ou du « meilleur effort », compromet l'aptitude des systèmes de téléprotection de réseaux d'énergie à respecter les strictes exigences de performance. C'est surtout le cas lorsque les énergéticiens s'en remettent à des services de télécommunication tiers, dont ils ne maîtrisent pas les liaisons de transmission.

Ainsi, quand la signalisation de protection transite sur des réseaux Ethernet/IP, il faut une solution capable de surveiller la disponibilité et la qualité du canal de communication longue distance, et d'émettre une alarme si la transmission fiable de commandes à l'extrémité distante ne peut être garantie → 4.

Innovations ABB

ABB, acteur majeur du marché de la téléprotection, a développé pour sa plateforme NSD570 deux nouvelles interfaces destinées à la signalisation de protection et à la télégestion sur réseaux Ethernet/IP.

- Interface pour réseau étendu (WAN) sur Ethernet type G3LE → 2 ;
- Interface pour réseau local (LAN) de gestion type G3LM.

Interface Réseau étendu Ethernet :

NSD570 type G3LE

- Cette nouvelle interface de ligne peut transférer en simultané jusqu'à

8 commandes indépendantes sur réseaux Ethernet/IP → 3.

- Elle remplit des fonctions de surveillance de canal et de traitement d'alarmes similaires aux interfaces de ligne NSD570 existantes (qualité et disponibilité du canal, délai de bout en bout, adressage de terminal).

Interface Réseau local Gestion :

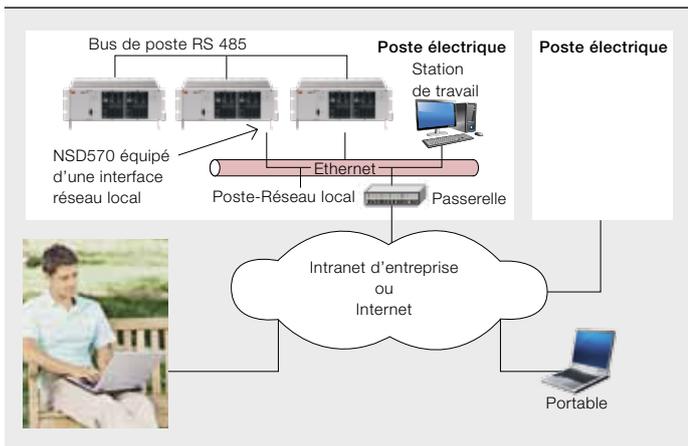
NSD570 type G3LM

- Elle succède à l'interface de gestion d'accès à distance existante, qu'elle enrichit de fonctions comme le support du protocole de gestion de réseau SNMP et des réseaux locaux virtuels, ainsi que de mesures de cybersécurité renforcées (authentification des utilisateurs et journalisation des événements).
- Elle assure la télésurveillance et la télégestion des unités de téléprotection en châssis et d'autres unités accessibles par le bus de poste RS 485 → 5 qui permet l'interconnexion de plusieurs châssis.

Ces deux modules enfichables → 6 offrent un port de transmission électrique (10/100 Mbit/s) et un port de transmission fibre optique (100 Mbit/s) doté d'émetteurs-récepteurs compacts et permutables pour la connexion au réseau Ethernet/IP.

NSD570 G3LE : fiabiliser la signalisation de protection sur réseaux Ethernet/IP

Au lieu de convertir simplement le canal synchrone existant (à 64 kbit/s) de la protection NSD570 en paquets Ethernet, un protocole a été développé pour alléger les contraintes de latence et de bande passante.



Outre les commandes de téléprotection, la charge utile du paquet Ethernet se décompose en plusieurs champs de données qui permettent de mesurer des paramètres clés de performance, dont le temps de transmission et le taux de perte de paquets.

La totalité de la charge utile est protégée par un algorithme d'authentification (brevet en cours) qui règle plusieurs problèmes de cybersécurité.

Surveillance continue de la qualité et de la disponibilité du canal

Plusieurs facteurs dégradent le temps de transmission d'un canal dans un réseau à commutation de paquets.

L'interface NSD570 G3LE surveille en permanence la disponibilité et la qualité du canal, à l'aide de paquets « de garde » émis à intervalles réguliers paramétrables. Des alarmes sont déclenchées si le temps de transmission ou le taux de perte de paquets mesurés sont supérieurs aux seuils configurés par l'utilisateur, ou encore en cas de perte totale du canal.

Fiabilité de la transmission

Dès que l'interface NSD570 G3LE reçoit une commande du relais de protection, elle commence à envoyer de nombreux paquets « de déclenchement » à intervalles rapprochés. Cela garantit une réception rapide des paquets, même quand le canal est très dégradé et affiche un taux de perte de paquets élevé. Après cette séquence initiale, l'interface continue d'envoyer des paquets de déclenchement, mais au rythme des paquets de garde. Si le relais de protection retire

sa commande, la transmission des paquets de garde reprend son cours.

La réception d'un seul paquet de déclenchement correct par la NSD570 distante active les sorties configurées de l'interface relais, en fonction des commandes véhiculées par le paquet.

Priorité des commandes de téléprotection à temps critique

Ces commandes doivent par définition être transmises le plus vite possible sur le réseau. Les protocoles IP et Ethernet permettent de gérer les priorités de transfert. L'interface NSD570 G3LE assure ces réglages avec l'octet « Type de service » de l'entête IP (niveau 3), qui renseigne sur la qualité de service, et le mécanisme *VLAN tagging* qui insère un numéro d'identification du réseau virtuel dans la trame Ethernet (niveau 2).

Garantie de performance sur réseau Ethernet/IP dégradé

La transmission numérique de commandes de déclenchement est soumise à une exigence de sécurité, appelée « probabilité de commande indésirable ». Dans le pire des cas, elle est fixée par la norme CEI 60834-1 à une valeur P_{uc} inférieure à $1E-08$. Pour le nouveau protocole de l'interface NSD570, des P_{uc} inférieures à $1E-18$ sont prouvées mathématiquement.



Des tests poussés ont été effectués sur la NSD570 G3LE dans un réseau comprenant un commutateur Ethernet de la gamme AFS d'ABB. Résultat : même en simulant un trafic par rafales de paquets de longueurs variables, sur certains segments de réseau surchargés, le temps de transmission reste inférieur à 4 ms pour avoisiner en moyenne 2,5 ms.

Vérifier la fiabilité de la transmission, même sur un réseau Ethernet/IP très perturbé accusant des taux de perte de paquets (PLR) supérieurs ou égaux à

Toutes les activités des utilisateurs sont enregistrées pour détecter très tôt les manipulations du système touchant à la sécurité.

10 %, revient à mesurer la « probabilité de commande manquante », notée $P_{cm} \rightarrow 7$. Pour cela, un grand nombre de commandes de déclenchement sont envoyées, à plusieurs taux PLR, puis le nombre de commandes non reçues dans un délai donné T_{max} est enregistré pour en déduire la P_{cm} . Aux fins de comparaison, la mesure de la fiabilité est calculée d'après le taux d'erreur sur les bits (BER), que l'on peut déduire du PLR correspondant.

Les résultats de ces tests ainsi que d'autres essais en vraie grandeur réalisés sur les réseaux Ethernet/IP de sociétés d'énergie ont confirmé que la nouvelle interface NSD570 G3LE d'ABB

Il faut bien concevoir le réseau Ethernet/IP pour ne pas dépasser le taux de perte de paquets et la latence spécifiés.

7 Quelques résultats de tests (interface NSD570 G3LE)

Fiabilité	$P_{cm} <$	1E-02	1E-02	1E-03	1E-03	1E-04
État du canal : taux de perte de paquets	PLR <	1 %	2 %	3 %	10 %	10 %
État du canal : taux d'erreur sur les bits	BER <	1.1E-05	2.3E-05	3.5E-05	1.2E-04	1.2E-04
Délai de transmission maxi	$T_{max} \leq$	4 ms	5 ms	6 ms	8 ms	10 ms

respecte et même dépasse les prescriptions CEI 60834-1.

Pour fiabiliser la transmission de commandes, il est indispensable de bien concevoir et configurer le réseau Ethernet/IP de façon à ne pas dépasser le taux de perte de paquets et la latence spécifiés entre les deux extrémités NSD570. À défaut, l'interface NSD570 signalera immédiatement une dégradation des performances du réseau.

NSD570 G3LM : sécuriser l'accès distant et la télésurveillance

Cette nouvelle interface autorise l'accès distant aux équipements de téléprotection NSD570 sur réseaux Ethernet/IP, par protocole SNMP. Un serveur intégré (agent SNMP) fournit aux stations d'administration du réseau (clients) des alarmes et informations sur les équipements, à l'aide de l'interface ouverte SNMP.

De même, plusieurs fonctions ont été ajoutées pour

optimiser la cybersécurité du réseau et permettre ainsi à nos clients d'exploiter la NSD570 en conformité avec, notamment, les nouvelles normes de protection des infrastructures essentielles CIP du NERC. Le protocole sécurisé SSL se charge du chiffrement et de l'authentification de l'accès utilisateur. Qui plus est, un nouveau système d'administration permet de paramétrer chaque compte utilisateur et de lui attribuer des droits d'accès individuels. Toutes les activités des utilisateurs sont enregistrées afin de détecter le plus tôt possible les manipulations du système touchant à la sécurité.

L'interface NSD570, parée pour la CEI 61850

Les réseaux locaux sur Ethernet investissent de plus en plus les postes électriques, sous l'impulsion de la norme internationale CEI 61850².

Pour l'heure, dans chaque poste électrique, le bus Ethernet CEI 61850 ne véhicule que les signaux de contrôle-commande et d'automatisme; les signaux de protection acheminés de relais à relais ou de relais à téléprotection sont encore câblés en fil à fil. Pour autant, la nouvelle interface Ethernet NSD570 G3LS est prête à accepter les messages GOOSE³ conformes CEI 61850-8-1, en provenance des relais de protection qui seront équipés d'interface GOOSE.

Totalement intégrée, la solution se passe de dispositifs externes nécessitant leur propre alimentation électrique et leur interface utilisateur et de gestion.

En outre, des groupes de travail CEI ont été constitués pour étudier l'extension de la CEI 61850 à la communication longue distance entre postes, donnant lieu, en mars 2010, à la publication du rapport technique CEI 61850-90-1 [3].

Suivant « l'approche passerelle » décrite dans ce rapport, les signaux de protection GOOSE du réseau étendu peuvent être transférés à la NSD570 distante par n'importe quel canal analogique, numérique/optique ou Ethernet → 3.

L'interface G3LS permet de mixer les relais de protection classiques et les relais conformes CEI 61850; les commandes GOOSE et à contacts peuvent

Acronymes

BER	<i>Bit Error Rate</i>
CEI	Commission électrotechnique internationale
CIP	<i>Critical Infrastructure Protection</i>
CPL	Courants porteurs en ligne
GOOSE	<i>Generic Object Oriented Substation Events</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MUX	Multiplexeur
NERC	<i>North American Electric Reliability Corporation</i>
PDH	<i>Plesiochronous Digital Hierarchy</i>
PLR	<i>Packet Loss Rate</i>
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
SSL	<i>Secure Socket Layer</i>
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

alors transiter en parallèle sur une même liaison NSD570, tout comme les messages GOOSE d'un poste peuvent être émis par le biais des sorties à contacts du poste électrique distant.

L'architecture ouverte de l'interface NSD570 d'ABB lui garantit une évolution en phase avec la normalisation CEI 61850 sur les communications intra-postes et inter-postes.

Bilan

Ces toutes dernières innovations ABB font de l'offre NSD570 une plate-forme évolutive, qui peut s'intégrer dans des réseaux étendus Ethernet/IP ou un réseau local de poste par simple remplacement ou ajout de module. C'est là un véritable système « tout en un » répondant aux exigences des lignes de transmission et interfaces de protection.

Totalement intégrée, la solution se passe de dispositifs externes nécessitant leur propre alimentation électrique et une interface utilisateur et de gestion dédiée.

Le parc installé de relais de protection classiques, dotés d'entrées/sorties à contacts, peut être utilisé sur tous les supports de transmission existants, même en parallèle avec les nouveaux relais CEI 61850 gérant la messagerie

GOOSE, sur une même liaison NSD570. Dans cette optique, l'interface NSD570 assure aussi l'adaptation progressive des postes à la normalisation CEI 61850, en autorisant l'interconnexion des postes « patrimoniaux » d'un réseau et des postes CEI 61850, par les canaux de téléprotection NSD570 existants.

Les clients qui projettent de porter leur infrastructure de réseau étendu sur Ethernet/IP sont bien épaulés par l'architecture NSD570 : ils peuvent utiliser les interfaces de ligne numériques et Ethernet en parallèle, par exemple, afin de se roder au nouveau support. Il est pour cela prévu un mode de fonctionnement économique à chemin « 1 + 1 », qui évite de dupliquer les interfaces relais avec les équipements de protection ; il suffit d'enficher dans le même châssis une seconde interface de ligne destinée au chemin redondant.

Ces toutes dernières innovations ABB font de l'offre NSD570 une plate-forme évolutive, qui peut s'intégrer dans des réseaux étendus Ethernet/IP ou un réseau local de poste par simple remplacement ou ajout de module.

Romeo Comino

Michael Strittmatter

ABB Power Systems
System Group Utility Communications
Baden (Suisse)
romeo.comino@ch.abb.com
michael.strittmatter@ch.abb.com

Bibliographie

- [1] Norme CEI 60834-1, *Matériel de téléprotection des réseaux d'énergie électrique – Performances et essais – Partie 1 : systèmes de commande*, 1999.
- [2] *Protection using Telecommunications*, Groupe de travail Cigré JWG 34/35.11, août 2001.
- [3] Norme CEI 61850-90-1, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-1 : Use of IEC 61850 for the communication between substations*, [Utiliser la CEI 61850 pour la communication entre postes], disponible uniquement en anglais, mars 2010.

Notes

- 2 Lire notre « Spécial CEI 61850 », téléchargeable sur www.abb.com/abbreview (en anglais).
- 3 Modèle de transfert de données événementielles, normalisé CEI 61850.