Mars 2023

LES CAHIERS DU LAB

VNF – Programme de Modernisation de l'Exploitation

Atelier du Lab Réseaux

STANDARD RÉSEAUX

VERSION	**1.1**	
NIVEAU DE STANDARD **LEGENDE** NIVEAU 1 : STRATEGIQUE / DEFINI LA CIBLE TECHNIQUE NIVEAU 2 : METHODIQUE / DEFINI LES CHEMINS POSSIBLES NIVEAU 3 : OPERATIONNEL / PRECISE LES SOLUTIONS TECHNIQUES NIVEAU 4 : MARCHE NATIONAUX ET LEUR UTILISATION	**1**	
OUVRAGES D'APPLICATION		
OUVRAGES DE NAVIGATION	EGG	X
	EPG	X
	PONT MOBILE	X
	TUNNEL	X
OUVRAGES DE GH	BARRAGES	X
	PRISES D'EAU	X
	REJETS	
	BARRAGES RÉSERVOIR	X
POSTE DE COMMANDE CENTRALISÉE	RÉARMEMENT EPG	X
	TÉLÉCONDUITE EGG	X
	GESTION HYDRAULIQUE	X
	GESTION DU TRAFIC	X
	CHEF DE SALLE	

Table des matières

1. Rôles et responsabilités 9
2. Architecture réseau physique 10
2.1. Grands principes 10
2.2. Déploiements de la fibre optique 10
2.3. Redondance physique 11
3. Architecture réseau logique 12
3.1. Grands principes 12
3.2. Maillage 12
3.3. Plan d'adressage IP 12
3.4. Redondance logique 12
3.5. Sécurisation 13
3.5.1 Segmentation des réseaux industriel et bureautique 13
3.5.2 Sécurisation des accès externes 14
3.5.3 Identification des flux de données 15
3.5.4 Identification et authentification machine-to-machine 15
4. Raccordements des ouvrages 16
4.1. Écluses grand gabarit 16
4.1.1 Architecture standard 16
4.1.2 Matériel 16
4.1.3 Règles de câblage 16
4.2. Écluses petit gabarit 17
4.2.1 Architecture standard 17
4.2.2 Matériel 17
4.2.3 Solutions de raccordement 19
4.2.4 Fonctionnement en mode dégradé 19
4.2.5 Règles de câblage 19
4.3. Ouvrages isolés 20
4.3.1 Architecture standard 20
4.3.2 Matériel 20
4.3.3 Solutions de raccordement 20
4.3.4 Fonctionnement en mode dégradé 20
4.3.5 Règles de câblage 21
4.4. AIS 21
5. Supervision et maintenance 22
5.1. Gestion des alertes 22
5.2. Gestion de la maintenance 23
5.3. Indicateurs 23

5.4. Matériel 23
5.5. Configuration 23
6. Annexes 24
6.1. Architecture écluse grand gabarit 24
6.2. Connexion aux switchs terrain 25
6.3. Exemples d'architectures réseau 25
6.4. Exemples de coffret EPG 26
6.5. Description de l'infrastructure pour la fibre optique 27
6.5.1 Exemple de déploiement fibre locale 27
6.5.2 Provenance et caractéristiques des matériaux et fournitures 27
6.5.3 Fibre, câble optiques et renforts 30
6.5.4 Travaux de génie civil 31
6.5.5 Travaux de réseau optique 36

Tables des illustrations

Figure 1 : Réseau global VNF 12
Figure 2 : Segmentation des réseaux VNF via DMZ 14
Figure 3 : Architecture fonctionnelle du bastion 15
Figure 4 : Exemple de matrice de flux 15
Figure 5 : Introduction au protocole 802.1X 15
Figure 6 : Cisco 9300 Switch 16
Figure 7 : Cisco IE-9310 16
Figure 8 : Connexions et redondance sur EPG 17
Figure 9 : Coffret de regroupement sur EPG 18
Figure 10 : Cisco Rugged Switch avec module d'extension 19
Figure 11 : Priorisation des solutions de raccordement sur EPG 19
Figure 12 : Schéma d'architecture actuelle de l'AIS 21
Figure 13 : Schéma d'architecture pour EGG - Sas simple 24
Figure 14 : Schéma d'architecture pour EGG - Sas double 24
Figure 15 : Cas d'un simple sas 25
Figure 16 : Cas d'un sas double 25
Figure 17 : Architecture réseau de la DT SO 25
Figure 18 : Architecture réseau de linéaire canal Saint Quentin 26
Figure 19 : Coffret 4G 26
Figure 20 : Coffret fibre optique 27
Figure 21 - Déploiement de fibre sur Ecluse de Creil 27
Figure 22 : Exemple de cheminement à respecter 35
Figure 23 : Choix des modes de pose 37
Figure 24 : Principe de cheminement sur écluse 37
Figure 25 : Principe de raccordement sur écluse 38
Figure 26 : Exemple de lovage et de boîte à épissures (BPEO) 39
Figure 27 : Schéma mesure réflectométrie 39

Préambule

Une première vague de quatre ateliers du Lab ont été lancés en décembre 2021 : SCUO, Architecture PCC, Gestion Hydraulique (GH) et Audio & Vidéo.

Une seconde vague de trois ateliers du Lab techniques – sous sponsorat DSIN – a été lancée en juin 2022 : Cybersécurité, Réseaux et Automates.

Ces groupes de co-construction fixent une ambition commune de cadrage national sur une thématique. Les principes donnés visent à homogénéiser le fonctionnement et l'utilisation sur tout le territoire et sont définis dans un standard. Ce document est à destination de tous les acteurs de VNF ainsi qu'aux maitres d'œuvres et intégrateurs, afin de le déployer.

Le présent document propose le standard Réseaux dans le cadre de la modernisation de l'exploitation et de la maintenance d'ici fin 2029.

Il couvre les éléments suivants :

- Architecture réseau physique
- Architecture réseau logique
- Raccordement des ouvrages
- Supervision et maintenance du réseau

Il s'agit de définir une vision partagée par l'ensemble de l'établissement (directions territoriales et siège : DIEE, DSIN, DIMOA) et des standards qui permettront d'avoir des outils d'exploitation et de maintenance des ouvrages communs.

Il est à noter que le **standard Réseaux** rencontre des connexions et interdépendances avec les autres ateliers du Lab.

Les participants de l'Atelier du Lab Réseaux ont été identifiés afin d'avoir une grande expertise sur les sujets et une représentativité de l'ensemble des activités de VNF (technicien, service maintenance-exploitation, informatique).

Représentant DT NPdC et pilote du groupe :	Michel COTARD
Représentant DT SO et pilote du groupe :	Fabrice GILBERT
Représentant DT NE :	Guillaume THOUVENIN
Représentant DT BS :	Nevio RICCI
Représentant DT RS :	Yoann VECCHIO
Représentant DT CB :	César NDAGIJIMANA
Représentant DT S :	Jean-Luc FLECK
Responsable technique :	David BOITELLE
Appui technique :	David MOREL
Contributeur DIMOA :	Vincent DUVAL
Sponsor :	Christophe LALOYER

Les principes définis et reportés dans ce document ont été retenus car ils constituent une réponse adaptée au champ de contraintes de la majorité des DT.

Glossaire

Abréviation	Signification
ANSSI	Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information
DMZ	*DeMilitarized Zone* Zone démilitarisée : zone tampon entre deux réseaux utilisés pour renforcer la sécurité
EGG	Écluse Grand Gabarit
EPG	Écluse Petit Gabarit
FTTH	*Fiber To The Home* Fibre optique jusqu'au domicile
GMAO	Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur Outils informatiques d'assistance aux services de maintenance (équipements, stocks, ressources, interventions, …)
GTI	Garantie de Temps d'Intervention
GTR	Garantie de Temps de Réparation / Recouvrement
IPsec	*Internet Protocol Security* Ensemble de protocoles permettant le transport de données sécurisées sur un réseau IP
LoRa	*Long Range* Technologie de communication sans fil bas débit
MFA	*MultiFactor Authentication* Système d'authentification d'utilisateur par au moins 2 moyens distincts (exemple : mot de passe et code envoyé par SMS)
MPLS	*MultiProtocol Label Switching* Mécanisme de routage de données utilisant des étiquettes au lieu des adresses réseau
OSI	*Open Systems Interconnection* Modèle standard de communication informatique divisé en 7 couches
PCC	Poste de Contrôle Centralisé
PoE	*Power over Ethernet* Système d'alimentation électrique vie les câbles Ethernet
PSO	Politique de Sécurité Opérateur
PSSI	Politique de Sécurité des Systèmes d'Information
SD-WAN	*Software Defined Wide Area Network* Évolution du WAN facilitant la gestion du réseau en séparant la partie matérielle du réseau de ses mécanismes de contrôle et de gestion
SI	Système d'Information

SIEM	*Security Information and Event Management* Outils de récolte, de traitement et d'analyse d'évènements d'un SI
SLA	*Service Level Agreement* Niveau de disponibilité d'un service, garanti contractuellement
VRF	*Virtual Routing and Forwarding* Technique permettant l'utilisation de plusieurs tables de routage dans un switch afin de faciliter la segmentation des réseaux
WAN	*Wide Area Network* Réseau informatique capable de couvrir un vaste territoire (à l'échelle d'un pays)
ZTP	*Zero-Touch Provisioning* Système d'installation de configuration automatique d'équipements

1. Rôles et responsabilités

Une liste de rôles et de responsabilités a été établie, il reste à les attribuer à chacun des acteurs de VNF :

- Recueil des besoins
- Analyse fonctionnelle
- Etude d'architecture réseau
- Supervision du réseau et diagnostics de niveau 1
- Analyses et diagnostics de niveau 2
- Fourniture et paramétrage des switches
- Installation/raccordement des switches
- Réflectométrie sur site
- Présentation/validation du projet
- Gestion budgétaire
- Maintenance opérationnelle
- Gestion du cycle de vie (configuration initiale, mise à jour, décommissionnement …)
- Administration nationale
- Administration locale (Radius)
- Définition de l'infrastructure de la fibre
- Choix du mode de pose (enterrée, immergée) et suivi (carte nationale de déploiement)

2. Architecture réseau physique

2.1. Grands principes

La stratégie de communication entre les ouvrages, les PCC et le Data Center est l'utilisation autant que possible de la fibre optique, notamment pour des raisons de besoin en bande passante.

Le réseau s'appuie sur 2 types de fibre :

- La fibre propriétaire, opérée et maintenue par VNF, permettant d'assurer une autonomie totale ;
- La fibre opérateur, fournie par un tiers, nécessitant moins d'investissements initiaux et permettant de relier des sites pas encore reliés via la fibre propriétaire.

La fibre propriétaire présente de multiples intérêts :

- Les brins peuvent être utilisés pour offrir des redondances uniquement sur de la fibre propriétaire ;
- Le réseau est hautement disponible car géré en interne ;
- La possibilité de louer des fourreaux et de la fibre noire est à étudier.

La fibre propriétaire peut être complétée par des connexions 4G/5G ou FTTH. Les autres technologies de connexion sont à proscrire hormis pour des cas exceptionnels et justifiés.

2.2. Déploiements de la fibre optique

Au moment du déploiement de la fibre, il sera recherché le meilleur compromis technique, économique et de sécurité physique du réseau pour définir les modes de pose (enterré et/ou immergé).

Un guide pratique, qui couvre les opérations de tracé, pose et maintenance de la fibre immergée, a été rédigé pour faciliter sa mise en place. Il inclut également les zones où il est interdit de placer la fibre immergée.

Par souci d'économie, il est recommandé de n'utiliser qu'un seul câble à fibre optique pour relier les ouvrages. En cas de besoin, l'implémentation de deux câbles distincts à fibres optique est envisageable.

Le câble à fibre optique standard comporte 12 paires de brins – soit 24 brins. Le système de soudure permet de mettre en place des redondances. Si la fibre est déjà en place, et comporte moins de brins, il est possible d'utiliser des équipements supplémentaires type multiplexeur à condition qu'il y'ait un minimum de place physique nécessaire pour l'installation (Hauteur 26cm, largeur 33 cm, profondeur 6cm). Il faut également prévoir une ouverture de porte de 20cm.

La fibre est déployée le long des linéaires afin de connecter les ouvrages situés sur les voies d'eau. La fibre peut être ramifiée pour connecter les ouvrages connexes par effet d'opportunité.

À terme l'objectif est d'obtenir un maillage du réseau entre les DT. En attendant, des solutions de secours basées sur le SD-WAN sont mises en place.

<u>Inventaire :</u>

Dans le cadre d'un projet de déploiement fibre en DT, la DSIN doit recevoir un recensement exhaustif de l'existant pour pouvoir proposer une architecture et des schémas de soudure.

La connexion des sites suivants :

- Ecluses
- Ouvrages des GH : barrages, vannes, prises d'eau, etc.
- Bâtiments administratifs
- PCC
- Ateliers, CMI, CMIS
- Pont-levis, tunnels

Requiert les informations suivantes :

- Position géographique du site
- Raccordement du site au WAN (oui/non)
- Site sur le tracé d'itinéraire (oui/non)
- Nombre de brins de fibres existants
- Nombre de ports souhaités (cf. standards), et quelles exceptions au standard

Lorsqu'une écluse est raccordée à la fibre propriétaire alors qu'elle est déjà raccordée à une fibre opérateur, et qu'elle ne requiert pas la fibre opérateur comme solution de connexion de secours, son abonnement est résilié et son switch ainsi que son plan d'adressage sont changés. Les écluses nécessitent des switches de niveau 3 (couche logique).

Pour un bâtiment administratif, lors du raccordement à la fibre il y changement du plan d'adressage mais pas forcément de changement de switch car on y utilise des switches de niveau 2 (couche physique).

La fonction de routage reste la différence principale entre ces deux niveaux. Un switch de niveau 2 fonctionne uniquement avec les adresses MAC et ne fait pas attention aux adresses IP ou à tout autre élément des niveaux supérieurs. Le switch de niveau 3 peut également effectuer, en plus des tâches du switch niveau 2, un routage statique et un routage dynamique. Cela signifie qu'il dispose à la fois d'une table d'adresses MAC et d'une table de routage IP, et gère la communication intra-VLAN ainsi que le routage de paquets entre différents VLAN.

2.3. Redondance physique

Les connexions réseau aux ouvrages doivent être secourues en cas de défaillance de la connexion principale

- Bouclage par jeu de soudure ;
- Fibre opérateur pour EPG ;
- Connexion au réseau FTTH ;
- Raccordement inter linéaire ;
- Raccordement inter DT
- Réseau FH si disponible ;
- 4G (limitations sur l'exploitation de la vidéo, privilégier les données automates et audio) ;
- 5G (limitations dues à la portée du réseau et sa faible couverture actuelle et à moyen terme) ;
- Internet par satellite (par exemple Starlink) – une étude pourrait être envisagée.

Ces moyens de redondance sont exploités via la SD-WAN.

3. Architecture réseau logique

3.1. Grands principes

Le réseau global VNF est unique et redondé au niveau physique (fibre opérateur, 4G, …), il est subdivisé en deux réseaux logiques indépendants : le réseau bureautique et le réseau industriel. Les PCC constituent les points de contact entre ces deux réseaux ; ils sont équipés de DMZ assurant la sécurisation du lien entre ces réseaux.

Chaque itinéraire dispose de son réseau industriel, connectant les ouvrages et les PCC. Les PCC agrègent les réseaux industriels des sites dont ils ont la charge.

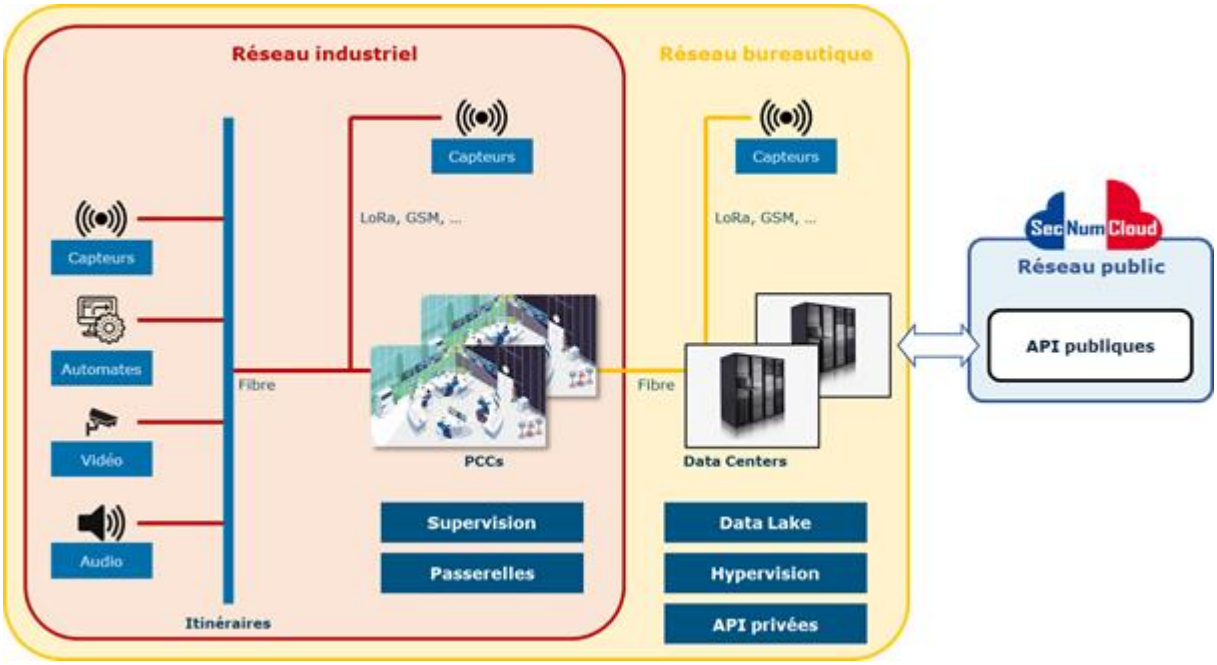

Figure 1 : Réseau global VNF

3.2. Maillage

Un maillage du réseau est mis en place afin d'augmenter sa résilience, ce maillage nécessite des équipements réseau niveau 3 (couche réseau du modèle OSI, adressage physique et logique).

L'utilisation du protocole MPLS augmente la résilience du réseau en déchargeant les switches des opérations de routage et en définissant à l'avance les chemins à utiliser en cas de perte d'un nœud du réseau (par exemple sur défaillance d'un switch). Ce maillage nécessite des équipements réseau de niveau 3 (couche réseau du modèle OSI, adressage physique et logique).

Ce maillage implique que les itinéraires et les DT sont reliés entre eux. Ces liens peuvent se faire au niveau des ouvrages, des itinéraires et des PCC. Chaque lien peut nécessiter des équipements spécifiques à étudier au cas par cas.

3.3. Plan d'adressage IP

Après identification d'un besoin et analyse ; le plan d'adressage IP est défini au niveau national.

3.4. Redondance logique

La redondance du réseau au niveau logique est assurée par un SD-WAN.

Le SD-WAN permet par configuration logicielle de recréer un WAN fonctionnellement identique au WAN nominal mais basé sur une infrastructure différente agrégant différents moyens de connexion (FTTH, 4G, …).

La sécurisation des échanges de données se fait via des tunnels IPSec dans le cas de l'utilisation du SD-WAN.

D'autres solutions de redondances logiques peuvent être employées : modulation de fréquences sur les ponts VHF, multiplexage, utilisation d'autres faisceaux dans la même fibre.

3.5. Sécurisation

Les règles de sécurisation sont discutées dans l'atelier « cybersécurité » et sont définies dans le document de la PSSI. Ces règles touchent tous les domaines : technique, physique, organisationnel et humain.

L'un des plus aspects les plus importants concerne la définition des périmètres accessibles en fonction des usages et besoins : le réseau VNF est segmenté afin de limiter ces périmètres.

3.5.1 Segmentation des réseaux industriel et bureautique

Le réseau global de VNF est segmenté logiquement en deux sous-réseaux indépendants : le réseau industriel et le réseau bureautique. Cette segmentation a pour objectif de renforcer la sécurité du SI industriel en charge de l'exploitation des ouvrages.

Un PC configuré pour se connecter sur le réseau industriel (i.e. configuré avec les applications d'exploitation) ne doit pas pouvoir se connecter sur le réseau bureautique. Tous les équipements « terrain » ou « métier » (automates, sondes, capteurs, caméras de vidéo-surveillance, matériels audio) sont connectés sur le réseau industriel ; des exceptions sont possibles dans le cas d'équipements situés loin des itinéraires.

De la même façon un PC configuré pour le réseau bureautique (i.e. disposant de la boîte mail, des navigateurs web et des applications non directement liées à l'exploitation) ne doit pas pouvoir se connecter sur le réseau industriel. Tous les équipements « non-terrain » ou « non-métier » sont connectés au réseau bureautique.

Certains postes (opérateurs, mainteneurs, …) nécessiteront l'utilisation simultanée de 2 PC distincts : un pour l'industriel et l'autre pour la bureautique.

3.5.1.a Segmentation via DMZ

Le réseau industriel est constitué de boucles fibrées bidirectionnelles au niveau de chaque itinéraire, reliées aux PCC, eux-mêmes interconnectés grâce au WAN VNF.

Le réseau bureautique relie les PCC (et autres sites sur le terrain), le Data Center et l'internet public grâce au WAN VNF.

Le WAN VNF utilise le maillage MPLS facilitant et sécurisant le routage des données.

Les PCC sont donc un point de contact entre les réseaux industriel et bureautique alors que le Data Center est un point de contact entre le WAN VNF et l'internet grand public.

La mise en place de DMZ au niveau de ces points de contacts renforce la ségrégation des réseaux et empêche tout échange de données non désirées entre les réseaux au travers de ces points de contacts. La DMZ constitue une ségrégation physique permettant un cloisonnement étanche des communications.

Les DMZ comportent chacune deux pare-feu (Stormshield et Palo Alto) et peuvent héberger des serveurs en fonction des besoins (par exemple : serveur de mails, passerelle d'échange de données, …).

Les PC utilisés par le personnel VNF sont affectés uniquement à un des deux réseaux, bureautique ou industriel : un PC affecté au réseau bureautique ne peut pas être utilisé sur le réseau industriel et vice-versa.

Certains services et applications devront **potentiellement** être accessibles depuis les deux réseaux industriels et bureautiques (GMAO, gestion des astreintes, …). Leur position, leur modalités et contraintes d'accès précises restent à déterminer et devront prendre en compte à la fois les contraintes métiers et techniques liées à la cybersécurité.

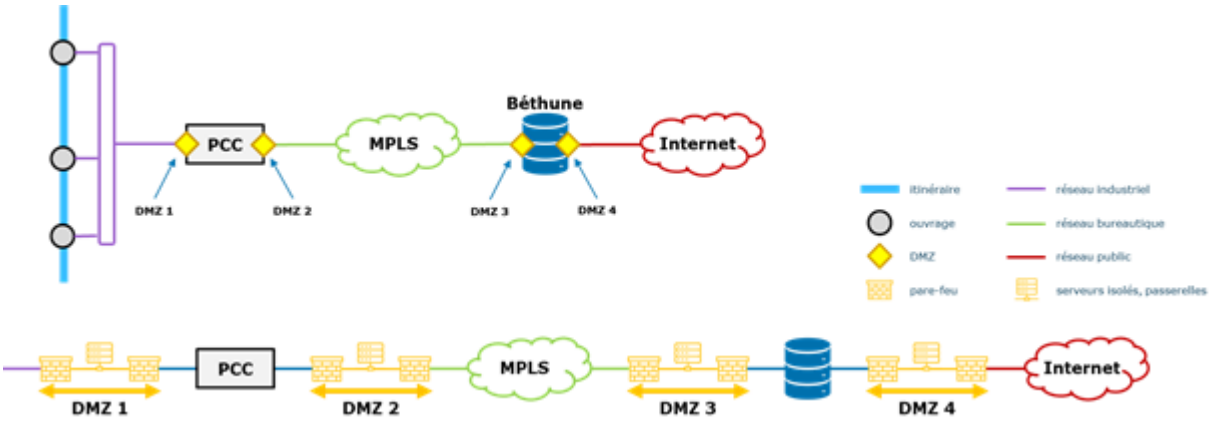

Figure 2 : Segmentation des réseaux VNF via DMZ

3.5.1.b Segmentation via VRF

Les réseaux industriel et bureautique sont aussi segmentés de façon logique grâce à l'utilisation de VRF. Cela permet la création de réseaux virtuels autonomes et inatteignables depuis les autres. Aujourd'hui 5 VRF sont identifiés :

- Administration ;
- Équipements industriels ;
- Audio ;
- Vidéo ;
- Bureautique.

D'autres sont envisageables en fonction des besoins (par exemple : un VRF « sureté » dédié aux caméras de vidéoprotection).

3.5.2 Sécurisation des accès externes

Les accès externes sont gérés par un bastion.

Un bastion est un élément accessible depuis l'extérieur d'un réseau et donnant accès à ce réseau via un unique point d'entrée. Les connexions à travers ce bastion sont journalisées et tracées. L'objectif est de contrôler minutieusement les accès au réseau et de détecter tout comportement suspect.

Techniquement, un utilisateur du réseau ne se connecte pas directement au réseau mais au bastion via un VPN. Après vérifications, c'est le bastion qui a la charge de connecter l'utilisateur au réseau et aux ressources auxquelles il a le droit d'accéder.

Les accès sont basés sur l'Active Directory, avec des accès qui peuvent être définis dans le temps, et expirer si le mot de passe n'est pas changé. La charte Cybersécurité devra spécifier comment les comptes externes sont gérés.

Principes cibles pour la sécurisation de la maintenance à distance et des astreintes de supervision :

- Passage par le bastion pour tout accès à usage privilégié ;
- Pour les prestataires : passage via VPN et bastion pour toute opération ;
- Pour le personnel VNF : accès aux outils industriels via le bastion ;
- Mise en place d'un double firewall pour accès externe (Stormshield) puis interne (Palo Alto).

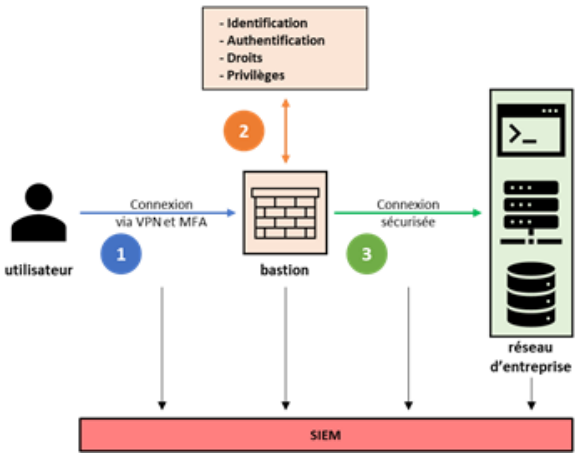

Figure 3 : Architecture fonctionnelle du bastion

Remarques :

- La connexion au réseau VNF via le VPN et le bastion permet d'accéder au réseau industriel depuis n'importe quel site ;
- Un compte industriel ne peut pas être utilisé pour se connecter au réseau bureautique et vice-versa ;
- L'accès n'est pas possible depuis un téléphone afin de limiter l'exposition du SI industriel à l'Internet ;
- L'accès pourra être restreint.

3.5.3 Identification des flux de données

L'intégralité des flux de données transitant par les réseaux VNF (physiques ou logiques) doivent être décrits et détaillés dans une matrice de flux afin de déterminer et configurer les autorisations nécessaires.

Nom	Zone Source	Source	User	Zone Destination	Destination	Port	Applications	Services
Ex : Accès spécifique - Test	Ex : 1311-Wallix	Ex : 10.1.131.22 Ex : 10.1.131.23	Ex : gs_test	Ex : 50-Prod	Ex : 10.1.50.128	Ex : 80 Ex : 443	Ex : Web browsing Ex : SSL	Ex : http Ex : HTTPS

Figure 4 : Exemple de matrice de flux

3.5.4 Identification et authentification machine-to-machine

Les principes de sécurisation des connexions sont aussi applicables aux connexions machine-to-machine. Les équipements connectés sur le réseau industriel doivent donc être identifiés et authentifiés avant de pouvoir communiquer.

L'utilisation du protocole 802.1X via des serveurs RADIUS est supportée par le réseau et sera implémentée pour l'identification et l'authentification de tous les équipements connectés au réseau (caméras, interphones, haut-parleurs, …) depuis les écluses hormis les automates.

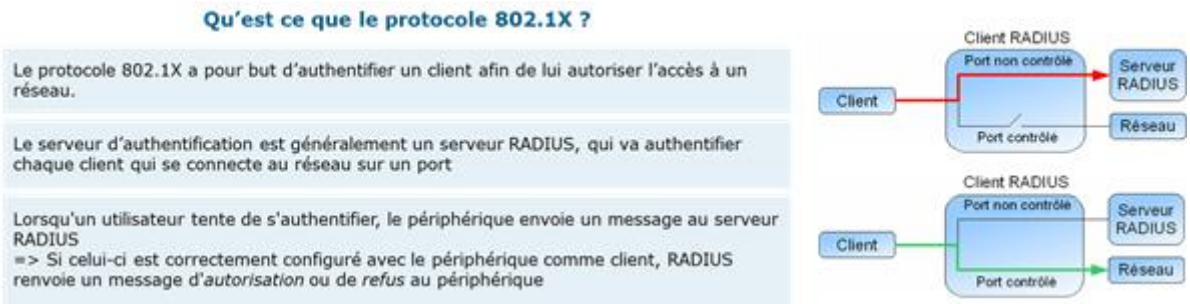

Figure 5 : Introduction au protocole 802.1X

Selon l'architecture de l'Active Directory (centralisée ou non), les serveurs RADIUS pourraient être installés en PCC afin de maximiser l'autonomie des réseaux industriels vis-à-vis du siège. Chaque PCC sera donc responsable de la sécurité des équipements connecté à son réseau industriel.

4. Raccordements des ouvrages

4.1. Écluses grand gabarit

4.1.1 Architecture standard

Tous les équipements sont connectés à des switches situés dans des boîtiers de raccordement via des connexions cuivrées ou **fibrées de préférence**. L'intégralité du système est redondée à partir de ces boîtiers :

- Les connexions entre les boîtiers de raccordement et les switches ;
- Les connexions entre l'ouvrage et le PCC.

En cas de défaillance du switch principal ou de la fibre principale, les communications basculent automatiquement sur la solution de secours.

Les schémas d'architecture sont précisés en annexe, section 6.1.

4.1.2 Matériel

Les équipements réseaux utilisés sur écluses grand gabarit sont déjà identifiés et couverts par le marché DSIN.

Les locaux techniques sont équipés de switches 24 ports Cisco 9300, idéalement situés dans une baie ventilée de 42U minimum, dont le but est de relier l'ouvrage au restant du linéaire.

Figure 6 : Cisco 9300 Switch

Les switchs 8 ports Cisco 3200, sont remplacés par des switch 19" Cisco IE-9310 dans la cabine d'écluse, qui centralisent l'ensemble des liaisons vers les équipements de l'écluse (haut-parleur, caméras …).

Figure 7 : Cisco IE-9310

Leur configuration initiale se fait automatiquement via ZTP : dès qu'un switch est connecté au réseau et démarre, il récupère sa configuration au PCC, l'enregistre et l'applique puis redémarre.

4.1.3 Règles de câblage

Un code couleur standard pour les câbles reliant les périphériques au switch a été défini :

- Vert pour caméras aval ;
- Bleu pour caméras amont ;
- Jaune pour l'interphonie BORNE SOS ;
- Orange pour haut-parleur et son microphone ;
- Rouge pour l'automate ;
- Gris pour l'IHM locale.

Le câble de couleur pouvant être couteux et pas forcément disponible lors des tournées de dépannage, il est envisageable d'utiliser du câble blanc avec un signalement de la couleur via de chatterton, velcro, étiquetage ou encore serflex.

4.2. Écluses petit gabarit

4.2.1 Architecture standard

Tous les équipements sont connectés à un switch situé dans le coffret via des connexions cuivrées. Ce switch est connecté à la fibre principale. Il peut aussi être connecté à un modem 4G ou à un autre routeur opérateur pour assurer la redondance du réseau en cas de mode dégradé.

En cas de défaillance de la fibre principale, les communications basculent automatiquement sur la solution de secours.

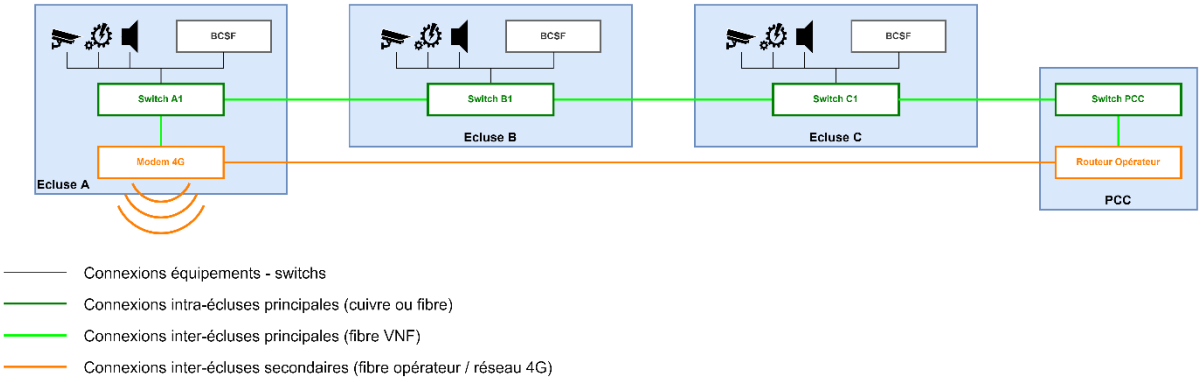

Figure 8 : Connexions et redondance sur EPG

4.2.2 Matériel

<u>Connexion à la fibre optique :</u>

- La fibre optique 24 brins du linéaire ne fait que passer devant l'ouvrage. Ce dernier est raccordé via sa 24FO dédiée où tous les brins sont soudés coté boite à épissures, et où ils soudés selon un plan de soudure dédié dans une BPEO contenant la 24FO de l'ouvrage et les 2x 24FO du linéaire (amont et aval). Le schéma de principe est représenté en annexe, section 6.5.5.
- La soudure est déportée de l'armoire informatique.

<u>Caractéristiques des coffrets de regroupement :</u>

- Coffret acier avec casquette et serrure à canon ;
- Plaque de fond pleine ;
- Alimentation 230V/24V 10A ;
- Parasurtenseur BT T3 ;
- Boitier d'épanouissement des fibres, au format rail DIN avec des connecteurs SC APC
- BCSF ;
- Switch 8 ports non POE, avec extension de ports possible en fonction du besoin (notamment pour la GH)
- 2 injecteurs CU/CU POE++ ;
- Jarretières RJ45, étiquettes repérage coffret, composants, etc. ;
- L'utilisation d'une BCSF Maxi nécessite 2 ports Ethernet supplémentaires.

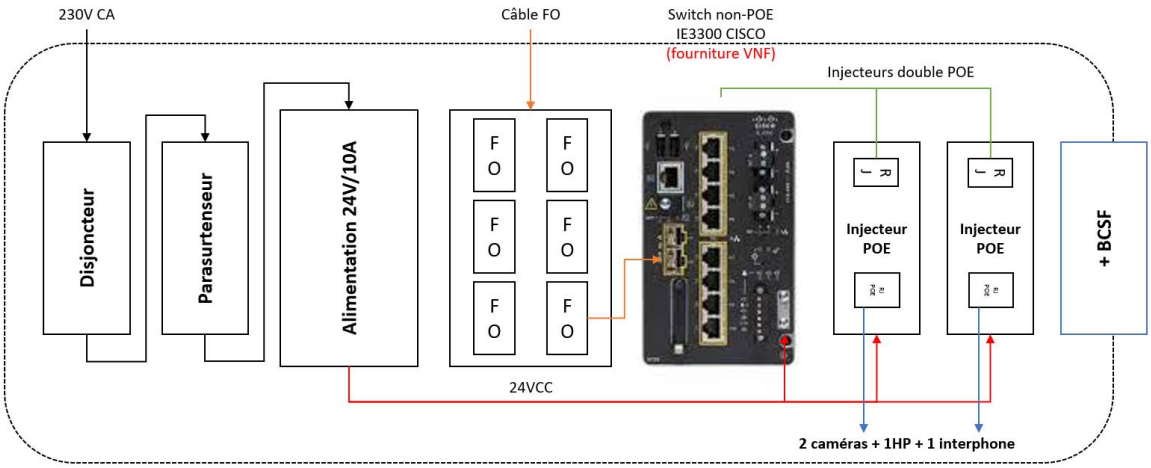

Figure 9 : Coffret de regroupement sur EPG

<u>Alimentation électrique :</u>

- Les injecteurs PoE peuvent être standardisés et fournis par la DSIN ;
- La DSIN peut fournir en fonction du besoin de la DT, des alimentations en 240w (output DC 48V) ou en 50w (output DC 24V).

<u>Protection face aux conditions extérieures :</u>

- La recommandation dans le standard pour les coffrets est qu'ils doivent être ventilés et protégés de la chaleur et de l'humidité ;
- Pour limiter la hausse de température, les recommandations sont les suivantes :
  - Installer les équipements qui chauffent en haut du coffret (BCSF notamment) ;
  - Prévoir de l'extraction de l'air en haut du coffret et de la ventilation basse ;
  - Possibilité d'installer une tôle au-dessus du coffret (à l'appréciation des DT).
- Afin d'accroître la résistance aux conditions extérieures (poussière, humidité, chaleur, rongeurs, insectes, …), il est possible d'utiliser une enveloppe double :
  - Enveloppe extérieure en polyester ventilé (ouvertures avec grille type moustiquaire en haut et en bas) ;
  - Enveloppe interne métallique avec chauffage.

<u>Sécurisation :</u>

- Les coffrets doivent être sécurisés ;
- Pour diminuer le risque de vandalisme, il est possible d'utiliser une enveloppe double ;
- Afin d'être alerté quand une armoire est ouverte, il est préconisé de mettre un contact sec. Il est aussi possible de mettre un contact sur automate ou un lecteur de badge sur l'ensemble des coffrets avec un système de serrure classique.

<u>Matériels identifiés :</u>

- <u>Boite à épissures :</u> TETRADIS WBEN10-24-024024 (format rail DIN) ;
- <u>Injecteur PoE :</u> PLANET IPOE-270-12V (format rail DIN) ;
- <u>Switch :</u> Cisco Catalyst IE 3300 Rugged Switch (8 ports, endurci) avec module d'extension (disponible au cas par cas en fonction des besoins de l'ouvrage en question, principalement lié à la GH).

Figure 10 : Cisco Rugged Switch avec module d'extension

Remarques :

Les boutons d'arrêt d'urgence sont uniquement sur site, pas au PCC.

4.2.3 Solutions de raccordement

La solution de raccordement privilégiée est la fibre optique propriétaire. En cas d'impossibilité, les solutions alternatives possibles sont, par priorité, la fibre opérateur et les connexions 4G/5G.

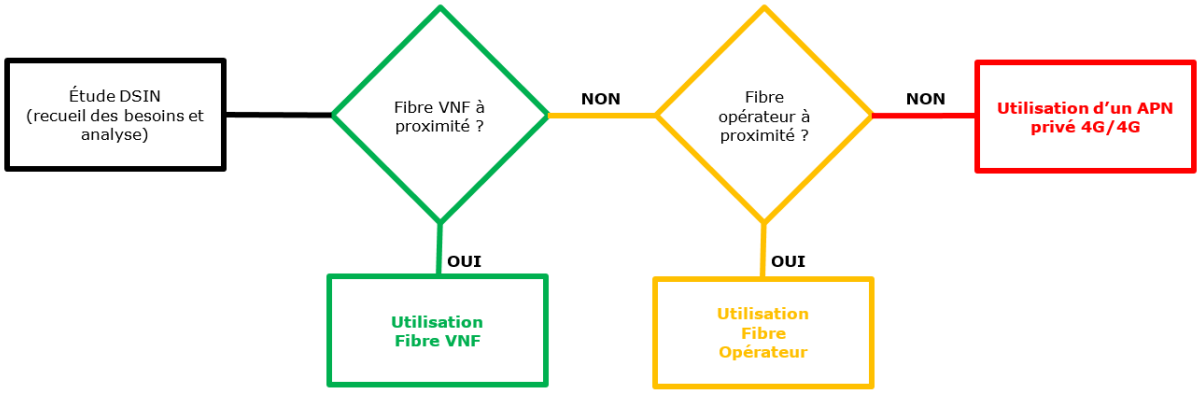

Figure 11 : Priorisation des solutions de raccordement sur EPG

4.2.4 Fonctionnement en mode dégradé

En mode dégradé la priorité est de préserver le fonctionnement des automates et de l'audio.

Le maintien des fonctions vidéo ne peut se faire que si elles n'impactent pas ces fonctions prioritaires. Il est possible de minimiser la bande passante nécessaire en diminuant la qualité de l'image (baisse de la résolution et du *framerate*) ou en employant un codec plus performant mais plus consommateur de ressources (ex : H.265) si cela ne remet en cause les possibilités d'exploitation.

4.2.5 Règles de câblage

Un code couleur pour les câbles reliant les périphériques au switch a été défini :

- Vert pour caméra aval ;
- Bleu pour caméra amont ;
- Jaune pour l'interphonie ;
- Orange pour haut-parleur et son microphone ;
- Rouge pour l'automate ;
- Gris pour l'IHM local (situé sur le pupitre de commande de l'écluse) ;
- Violet pour la BCSF.

4.3. Ouvrages isolés

4.3.1 Architecture standard

L'architecture réseau standard des ouvrages isolés est sensiblement identique à celle des EPG.

4.3.2 Matériel

Quand un ouvrage isolé dispose d'au moins un automate et une caméra, toutes ses connexions passent par un coffret de regroupement similaire à celui des écluses petit gabarit :

Equipement	Barrage	Prise d'eau automatisée	Prises d'eau non automatisées	Sonde GH autonome	Siphon
Alimentation 230V/24V 10A	Oui	Oui	Non	Non	Non
Parasurtenseur BT T3	Oui	Oui	Non	Non	Non
Un boitier d'épanouissement des fibres	Si FO	Si FO	Non	Non	Non
Switch 8 ports	Oui	Oui	Non	Non	Non
Extension du switch (ports supplémentaires)	Non	Non	Non	Non	Non
2 injecteurs CU/CU POE++	Si vidéo-surveillance	Si vidéo-surveillance	Non	Non	Non
Onduleur (microcoupures)	Oui	Oui	Non	Non	Non
BCSF	Non	Non	Non	Non	Non

Les caractéristiques des équipements sont identiques à celles des EPG.

Remarques :

- Les barrages ne disposent d'aucun système d'arrêt d'urgence et ne requiert donc aucun équipement de sécurité spécifique (APS, AU).

4.3.3 Solutions de raccordement

Les ouvrages isolés comprenant un automate sont raccordés de la même façon que les EPG : la fibre propriétaire est privilégiée puis la fibre opérateur et les connexions 4G/5G.

Les ouvrages isolés ne disposant pas d'automates peuvent utiliser comme solution alternative à la fibre et à la 4G/5G d'autres moyen de connexion filaire (SDSL, …) ou sans fil (LoRa, radio, …).

4.3.4 Fonctionnement en mode dégradé

Les ouvrages isolés comprenant un automate ont un mode dégradé similaire à celui des EPG.

Les ouvrages isolés sans automate n'ont pas de mode de fonctionnement dégradé standardisé, une intervention humaine sur le terrain peut être nécessaire (relevés manuels, actionnement d'organes manœuvrant, …).

4.3.5 Règles de câblage

Les ouvrages isolés utilisent le même code couleur que celui défini pour les EPG.

4.4. AIS

Le Système d'Identification Automatique (AIS) est un système d'échanges automatisés de messages entre navires par radio VHF. Il leur permet ainsi qu'aux systèmes de surveillance de trafic de connaître l'identité, le statut, la position et la route des navires se situant dans la zone de navigation.

Les stations AIS sont connectées au Data Center, sur un modèle « *Hub and Spoke* » : les stations ne communiquent qu'avec un serveur, pas entre elles.

Le réseau AIS est historiquement segmenté du reste du réseau suivant les préconisations de l'ANSSI relatives à un réseau non-configuré en MPLS. Ce réseau est sécurisé par des bulles étanches VRF et un Firewall Stormshield au siège.

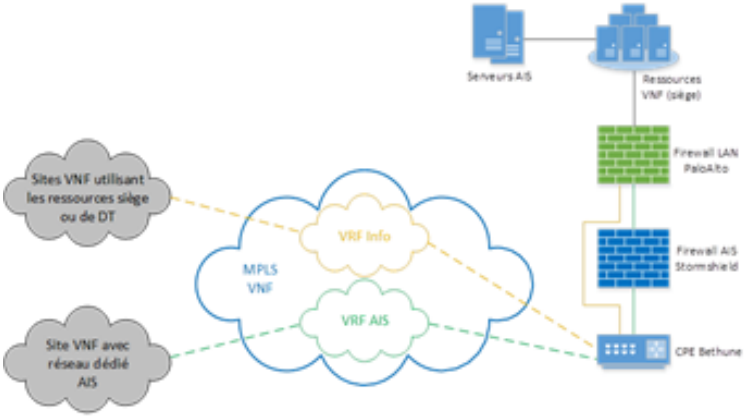

Figure 12 : Schéma d'architecture actuelle de l'AIS

À terme les stations AIS devront être connectées à la fibre du réseau industriel et utiliser un VRF disponible sur ce réseau. L'AIS bénéficiera alors de toutes les solutions d'infrastructure, de supervision, de sécurité et de redondance du réseau industriel.

5. Supervision et maintenance

La supervision du réseau permet de contrôler le fonctionnement normal sur l'ensemble de l'infrastructure informatique de l'entreprise. Pour assurer cette fonction, deux niveaux sont envisagés :

- La supervision au niveau national via le centre de services ;
- La supervision au niveau local en DT et PCC via les cellules informatiques.

Cette supervision émet aussi des notifications à l'intention des utilisateurs afin de les informer des dysfonctionnements en cours.

5.1. Gestion des alertes

En cas de détection d'un problème sur le réseau via une alerte émise par le système de supervision, ce problème est catégorisé selon son ampleur et sa criticité :

Paramètre	Niveau	Description
Ampleur	1	Problème d'ampleur régionale ou nationale nécessitant la consultation du siège
	2	Problème complexe d'ampleur modérée (itinéraire) nécessitant une intervention à distance
	3	Problème complexe d'ampleur modérée (itinéraire) nécessitant une intervention locale
	4	Problème simple nécessitant une intervention locale
Criticité	1	Problème critique (exploitation de plusieurs itinéraires impossible)
	2	Problème majeur (exploitation d'ouvrages critiques impossible)
	3	Problème modéré (exploitation d'ouvrages critiques ralentie)
	4	Problème mineur (exploitation d'ouvrages non-critiques ralentie)

Ce classement définit 16 scénarios types, à chacun doit être associé un processus d'intervention listant chronologiquement chacune des actions à mener par chacun des acteurs, de la détection du problème jusqu'à sa résolution. Ainsi la résolution des problèmes suivra une trame documentée et partagée afin de faciliter les interactions entre les acteurs de leur résolution.

Les problèmes réseau liés à la cybersécurité font l'objet d'un classement spécifique car ils nécessitent des acteurs et des outils propres à la cybersécurité. Le traitement des alertes cybersécurité est abordé dans le standard « cybersécurité » et détaillé dans le document de PSO.

Remarques :

- Afin de permettre de détecter les ruptures et les parties dégradées du réseau, il est recommandé de mettre en place un jeu de couleur sur la vue globale du réseau.
- La formation des agents VNF est indispensable pour qu'ils soient en mesure d'intervenir sur la fibre (diagnostic : utilisation de réflectomètre, crayons ; réparation : soudure).
- Le futur marché de maintenance doit aussi inclure la maintenance de la fibre propriétaire.
- Le marché de supervision du réseau d'info gestion existe, il est attribué à Aramis. VNF a également accès aux interfaces de supervision.
- Le marché de déploiement du réseau d'info indus est attribué à Aramis.

5.2. Gestion de la maintenance

La maintenance du réseau, aux niveaux matériel et logiciel, doit être détaillée au niveau national dans une gamme opératoire. Les interventions doivent être planifiées de sorte à minimiser les impacts sur l'exploitation des ouvrages.

Toutes les informations de maintenance pourront être mises à disposition dans l'outil de GMAO à venir.

5.3. Indicateurs

- Il faut définir en central un niveau de criticité par type d'ouvrage et prenant en compte la saisonnalité : EGG, EPG critiques et non critiques, ouvrages de GH de classe A et B, etc. ;
- L'engagement sur la disponibilité du réseau ne devrait pas être inférieure à 99,8 % (17h30 d'indisponibilité par an) ;
- La GTI et la GTR à fixer dépendront du niveau de criticité.

5.4. Matériel

La DSIN prévoit 10-15% de *spare* sur les switches à la commande.

5.5. Configuration

Les équipements réseaux utilisent ZTP pour s'autoconfigurer via des configurations mises à disposition en PCC.

6. Annexes

6.1. Architecture écluse grand gabarit

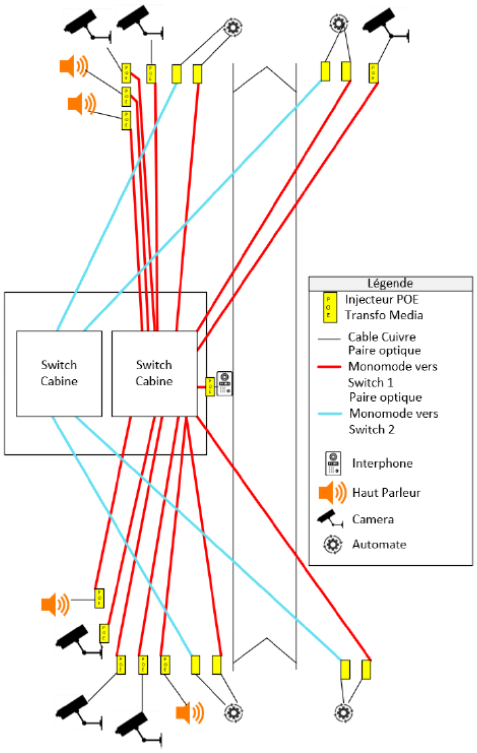

Figure 13 : Schéma d'architecture pour EGG - Sas simple

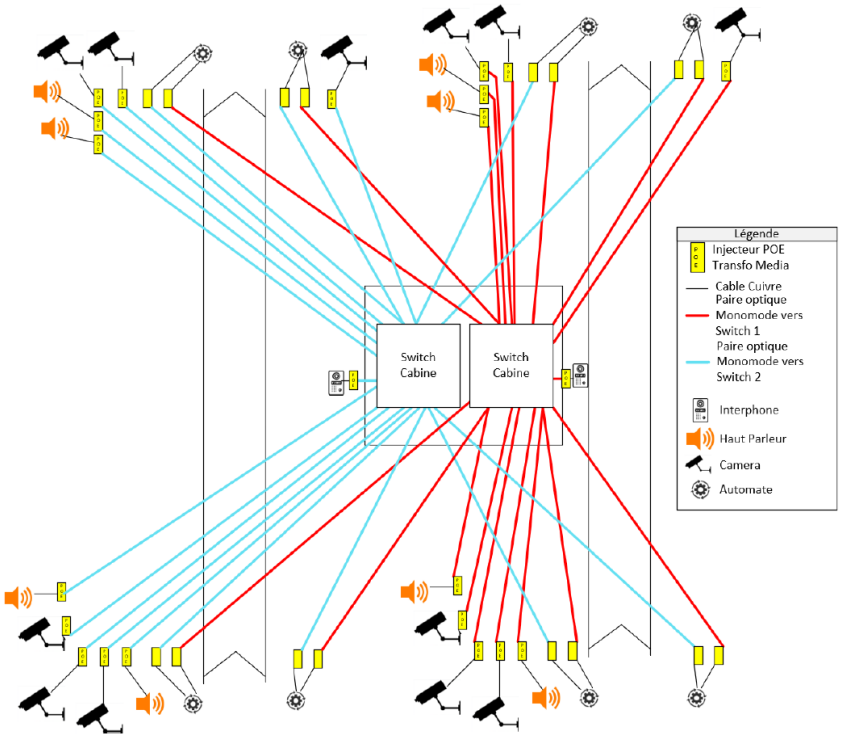

Figure 14 : Schéma d'architecture pour EGG - Sas double

6.2. Connexion aux switchs terrain

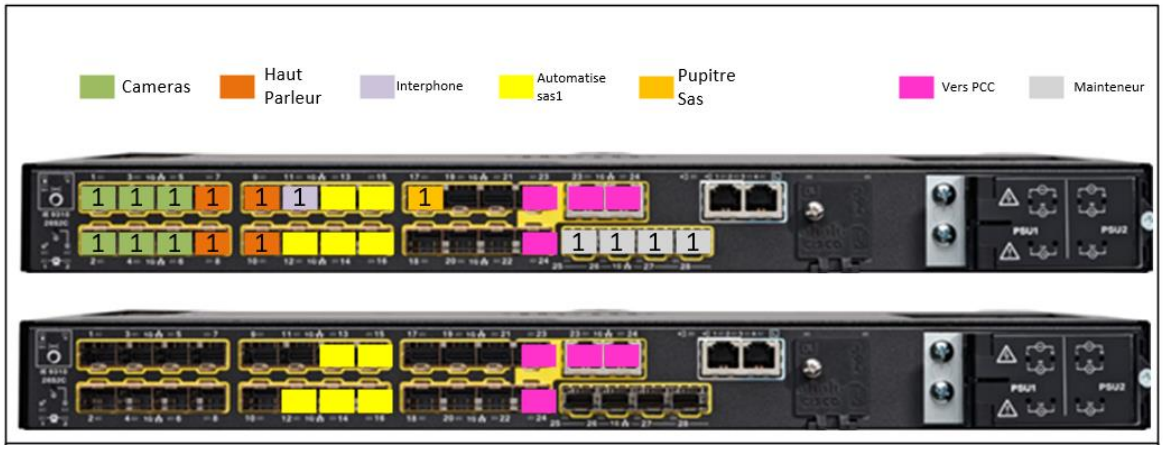

Figure 15 : Cas d'un simple sas

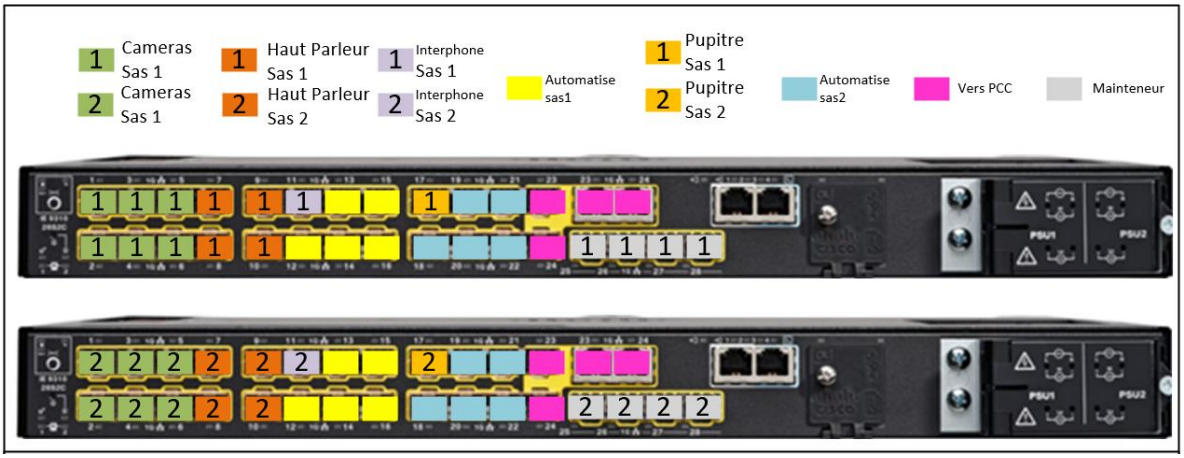

Figure 16 : Cas d'un sas double

6.3. Exemples d'architectures réseau

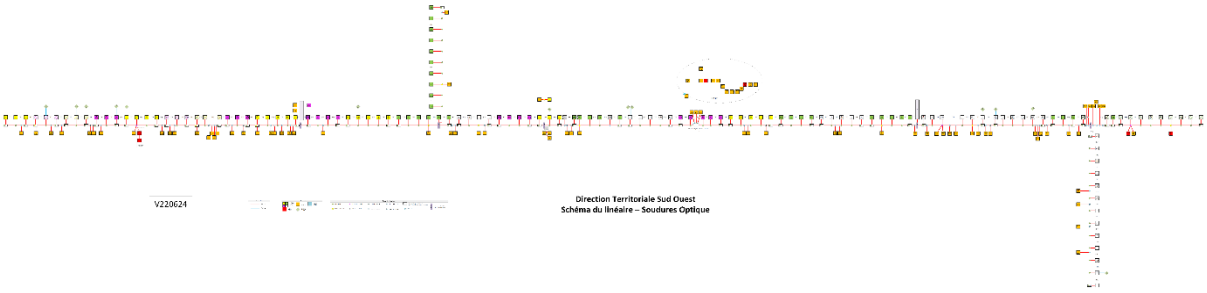

Figure 17 : Architecture réseau de la DT SO

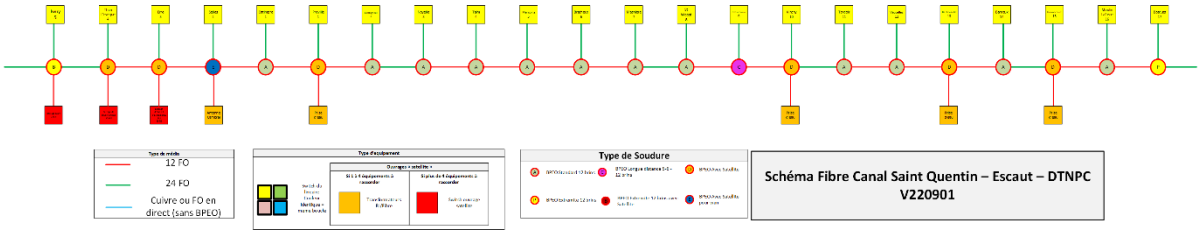

Figure 18 : Architecture réseau de linéaire canal Saint Quentin

6.4. Exemples de coffret EPG

<u>Coffret connecté DE NPdC :</u>

Le coffret représenté ci-dessous comporte un switch 4G en attendant le déploiement de la fibre optique :

Figure 19 : Coffret 4G

- Les DT possèdent actuellement des switchs de chez Adista. L'objectif dans le futur est de supprimer l'ensemble de ces équipements dans les EPG (redondance pilotée par le SD-WAN sur équipements endurcis)
- Le marché Adista se termine en 2024 et un nouveau sera lancé fin 2023. Un changement de titulaire du marché impliquerait automatiquement le changement des 753 lignes avec Adista.

Pour les ouvrages non-raccordés et le mode dégradé, le SD-WAN peut être mis en place avec un switch 4G installé sur chaque ouvrage. Le but d'avoir une solution propriétaire est de s'affranchir d'un accès opérateur, cependant l'utilisation du SD-WAN est limitée par le *Fair Use*.

Avec 1200 EPG à équiper, les coûts de matériel doivent être optimisés. Les équipements réseau doivent être intégrés dans l'armoire électrique de l'écluse quand c'est possible, sinon ils doivent être intégrés dans un coffret rajouté à proximité. Il ne faut en aucun cas ajouter de baie informatique. De plus, l'utilisation des onduleurs pour les EPG est à éviter pour des raisons de coût-bénéfice.

Figure 20 : Coffret fibre optique

6.5. Description de l'infrastructure pour la fibre optique

6.5.1 Exemple de déploiement fibre locale

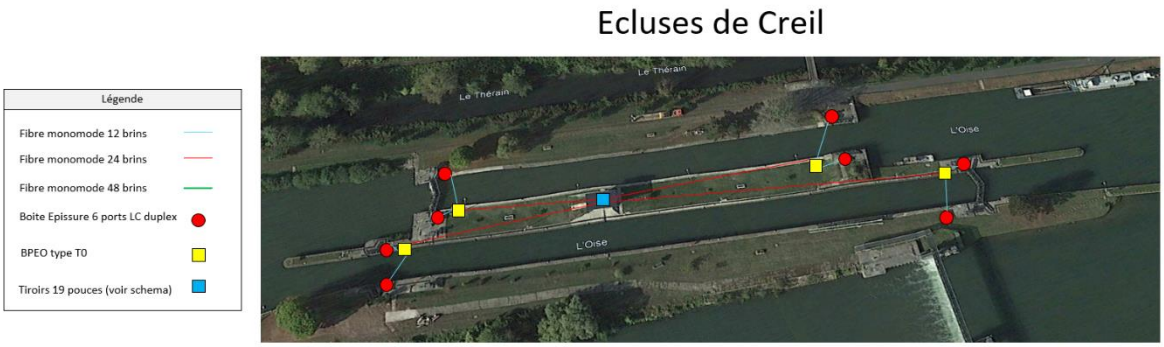

Figure 21 - Déploiement de fibre sur Ecluse de Creil

6.5.2 Provenance et caractéristiques des matériaux et fournitures

Préconisation	Caractéristiques
Gaines PEHD	▪ Gaines en Polyéthylènes haute densité <u>renforcée/haute résistance</u> rigide ▪ Ø40 mm extérieur et Ø33 mm intérieur conforme à la marque NF ▪ Les gaines PEHD doivent résister à une pression de 12 bars minimum
Gaine fendue annelée ICTA	▪ Gaine en polypropylène, non propagatrice de la flamme, FRLS0H (libre d'halogènes), de couleur verte ▪ Ø25 mm, fendue longitudinalement, conforme à la EN 61386-22
Gaine TPC isorange	▪ Fourreaux isorange annelés à l'extérieur et lisses à l'intérieur, de couleur verte et conformes à la norme NF EN 61386-24 ▪ Equipés d'un tire-fil

	▪ Stockage des fourreaux réalisé conformément à la norme NF T 54-018
Chemins de câbles	▪ Chemins de type « cablofil », en fil soudé en acier galvanisé de dimension 54 x 50 mm et de type panier conforment aux normes en vigueur (IEC 61 537)
Gaine annelée Inox (Pose en immergée)	▪ Gaine en inox 304 ▪ Ø30 mm sur 5ml environ à chaque sortie d'ouvrage ▪ Les fixations (un point de fixation tous les 50cm) sont également assurées par vis et dispositif de fixation Inox de même qualité
Tube acier Inox MRL (Lors des remontées d'ouvrage ou pour des cheminements en apparent)	▪ Ø32mm conforme au norme NF EN 61386-21 / NF EN 60423 ▪ Système de conduit en acier inoxydable (AISI 304) ▪ Les fixations (un point de fixation tous les 50cm) sont également assurées par vis et dispositif de fixation Inox de même qualité
Profilé GPC/PRC 60	▪ Profilé en acier galvanisé ou en aluminium d'une épaisseur de 1,50mm minimum ▪ Fixations seront assurées par visserie Inox.
Tube IRL	▪ Ø32mm conforme à la norme NF EN 61386-21 ▪ Système de conduit isolant, rigide, lisse destiné à la protection des fils et câbles électriques
Goulotte PVC	▪ Dimensions 80mm*50mm et conforme à la norme NF EN 50085-2-1
Chambres de tirage (Sur les linéaires sans obstacles/ouvrages particuliers, il est prévu la disposition d'une chambre tous les 1000 mètres environ)	▪ De type préfabriqué, en béton, conformes à la norme NF P 98.050 et de **classe L1T, L1C, L2T ou L2C** ▪ Compactes et équipées d'un cadre en acier galvanisé et d'un tampon en fonte (possède une résistance de **250 KN** ou **400 kN** selon NF EN 124) ▪ Equipées de supports pour fixer les boîtiers de jonction ou de piquage optique et les loves de câble ▪ Possèdent des trous d'évacuation d'eau lorsqu'elles sont placées dans les zones en remblais et n'en possèdent pas lorsqu'elles sont placées dans les secteurs en déblais
Grillage avertisseur	▪ Matière en plastique, de couleur verte et conforme avec la norme NF EN 12613.
Conducteur de détection	▪ De type PLYNOX, fil traceur revêtu permettant une détection par tout type de détecteur standard
Rack optique	▪ De type 19" – 9U profondeur 600mm pour fixation mural ▪ Possède un indice de protection IP 20 minimum ▪ L'enveloppe extérieur est en acier peint de 1,5 mm d'épaisseur, il possède une porte vitrée en verre sécurit trempé 3mm avec poignée, serrure et fermeture à clef. ▪ Équipé d'une grille de ventilation, d'une plaque passe-câbles avec brosse, des rails de montage verticaux et horizontaux, d'un

	rail de mise à la masse avec neutre à la terre et des rails DIN nécessaires à la fixation des équipements
Coffret réseau intérieur	▪ Dimension : 500 mm de large par 600 mm de haut et 250 mm de profondeur ▪ Possède les caractéristiques suivantes : ○ Coffret acier et peinture poudre époxy RAL 5042 ○ Fixation murale par pattes métalliques à fournir ○ Porte vitrée compatible avec le coffret à fournir ○ Serrure de porte avec numéro de type non courant. ○ Grille de fond de coffret ○ Plaque d'obturation basse ○ Rail DIN ○ Visseries nécessaires pour le montage du coffret
Armoire réseau extérieure	▪ Possède les caractéristiques suivantes : 19 pouces 14U extérieure, enveloppe IP 55, IK10 en aluminium, dimensions hors tout (±10%) : L826mm x P 350 x H 1050 ▪ Equipée d'un bandeau de 8 prises 230 V au format 19" avec détrompeurs adaptés y compris cordon d'alimentation d'une longueur de 2m minimum et de tous ses accessoires ▪ L'armoire est également pourvue de son socle en aluminium et d'un porte document.
Tiroir optique	▪ Au format 19" – 1U ou 2U ▪ Permet d'accueillir les brins du câble optique et est équipé des presses étoupes nécessaires, de la plaque frontale avec les coupleurs **SC - APC** prémontés et la ou les cassette(s) de lovage. ▪ Possède un châssis et un tiroir coulissant en acier 1.2mm peint.
Boite à épissures	▪ 135 mm de hauteur x 61 mm de largeur x 152 mm de profondeur ▪ Possède les caractéristiques suivantes : ○ Boite répartiteur d'épissures pour rail DIN type TH35 avec plaque frontale ○ Doit convenir au montage de cassettes d'épissures 12 emplacements à fournir également. ○ Doit convenir au montage de pigtails ou de câbles d'installation préconnectorisés SC ○ Boîtier solide en acier peint. ○ Avec étiquette d'identification pour marquage individuel des sorties en face avant ○ Fixation sur rail DIN ○ Arrivée de câble par le haut ou par le bas, horizontale ou en diagonale, avec presse-étoupe M20 ○ Plaque frontale fournie avec supports verts pour connecteurs **SC-APC**.
Boite de jonction hors coffret (PBOI)	▪ Possède les caractéristiques suivantes : ○ Boîtier compact, couvercle à glissière ou équivalent ○ Double ancrage du câble principal ○ Large zone de lovage pour microtubes et fibres ○ Organiseur type BPEO

	○ Dimensions : H~ 200 mm, L~160 mm, P~50 mm ○ Matériaux : Thermoplastiques ○ Couleur : Blanc ○ Degré de protection : IP 40 / IK 08 ○ Câbles admissibles : compatible avec les câbles du présent marché ○ Amarrage des câbles : Sur berceaux avec colliers ○ Raccordement : organiseur sur cassette type BPEO et de type fusion ○ Connectique : raccords type SC-APC ○ Repérage : étiquetage sur boitier et clips de couleur sur cassette
Borne blanche de repérage plate des réseaux enterrés	▪ Possède les caractéristiques suivantes : ○ Dimensions minimales 150 x 150 mm, épaisseur 30 mm ○ Matière PEHD, couleur blanc ○ Piquet d'ancrage, plaque de fermeture ○ Plaque signalétique personnalisée (VNF – Réseau FO)
Béton (Assise des chambres, calage, comblement de saignées, etc…)	▪ De propreté dosé à 250 kg/ m^3 de ciment CEMI 32.5
Béton bitumineux semi-grenu (Reconstitution des secteurs impactés)	▪ BBSG 0/10 noir conforme à la norme NF EN 13108-1 février 2007
Fouilles	▪ Sont considérées comme fouilles les terrassements exécutés au niveau inférieur de celui du terrain naturel
Déblais	▪ Les matériaux en provenance des fouilles ou des démolitions qui ne sont pas utilisés pour remblayage des tranchées sont mis en dépôt provisoire sur le site puis évacués à la fin du chantier. Les dépôts ne doivent en aucun cas gêner le fonctionnement du canal
Matériaux pour remblais	▪ Ces matériaux sont propres et leur granulométrie est suffisamment bien étalée pour permettre un bon compactage.

6.5.3 Fibre, câble optiques et renforts

6.5.3.a Type de fibre suivant les normes NF EN 60793-2-50 et CEI 60793-2-50

Il s'agit d'une fibre monomode de catégorie B1 Silice/Silice constituée de 2 tubes de 12 brins soit 24 brins au total.

Fibre SMF–G652 D avec une valeur de PMD (Dispersion des modes de polarisation) <0,2ps/√km.

Ø champ de mode (µm)	Ø Gaine (µm)	Ø Revetment (µm)	Longueur d' onde de coupure (mm) en câble	Longueur d' onde d' annulation de dispersion	Dispersion typique à 1550 nm (ps/nm.km)	Affaiblissement max à 1310 nm (dB/km)	Affaiblissement max à 1550 nm (dB/km)	Affaiblissement max à 16XX nm (dB/km)
8,6 à 9,5	125 ±1	245±10	≤ 1260	1310<λ<1324	18	≤0,4	≤0,3	≤0,4

Code couleur des fibres unitaire selon Fotag IEEE 802.8.

6.5.3.b Codes couleurs fibre optique

	Fibre 1	Bleu
	Fibre 2	Orange
	Fibre 3	Vert
	Fibre 4	Marron
	Fibre 5	Gris
	Fibre 6	Blanc
	Fibre 7	Rouge
	Fibre 8	Noir
	Fibre 9	Jaune
	Fibre 10	Violet
	Fibre 11	Rose
	Fibre 12	Turquoise

6.5.3.c Le câble optique et les renforts

Câble standard pour pose sous-conduite :

Le câble optique est à structure micro-modules, cette technique permet de faciliter la pose par soufflage en conduite. Le câble est renforcé par de la fibre/mèches de verre pour une protection contre les rongeurs et la gaine extérieure est en PEHD (Polyéthylène haute densité) pour une pose aisée dans les gaines.

Câble armure acier pour pose immergée :

Le câble est renforcé pour avoir une résistance à la traction et à l'écrasement lui permettant d'être posé en milieu aquatique et est protégé mécaniquement et contre les rongeurs à chaque sortie d'ouvrage. Il est composé d'une double gaine, le tube est rempli de gel d'étanchéité pour bloquer la pénétration de l'eau et il présente une protection par mèche de verre et une armure en acier copolymère ondulé/annelé pour une résistance renforcée à l'écrasement, aux impacts et une protection anti-rongeurs optimale. La gaine extérieure est en PEHD (Polyéthylène haute densité).

Câble armé et blindé mécaniquement de type liaison sous-marine pour pose immergée :

Le câble est renforcé par un blindage mécanique constitué de deux couches de fils en acier galvanisé et bituminés ceinturant un tube inox contenant les fibres optiques et le gel hydrofuge et est composé d'une double gaine Pehd (intérieure et extérieure).

Son poids d'environ 500 Kg / Km évite l'emploi et la nécessité de fixation d'un lest tous les 3 à 5 m. Le diamètre extérieur maximum est d'environ 15 à 16 mm. La capacité de courbure minimum est de 25 fois le diamètre du câble.

6.5.4 Travaux de génie civil

6.5.4.a Réalisation des tranchées et fouilles

Les tranchées sont rebouchées et les gaines, le grillage et le fil d'identification posés au fur et à mesure de l'avancée de travaux, de manière à éviter de grande longueur de tranchées ouvertes, sources de danger et de gêne aux usagers.

Dans les zones de réalisation des tranchées, les repérages et sondages nécessaires à la définition du cheminement des gaines à installer doivent être effectués.

Les tranchées possèdent une profondeur de 50 à 80 cm (50 cm en espace vert, 60 cm en accotement et 80 sous chaussée ou chemin de service) et une largeur la plus faible possible (environ 20 cm) sachant qu'elles reçoivent deux (2) gaines Pehd. Elles sont conformes à la norme NF P 98-331.

Les tranchées sont réalisées en majorité à l'aide de trancheuse sur chenilles adaptée au secteur à réaliser. Les trancheuses possèdent un déport de la tête de coupe et permettent une pose mécanisée et simultanée des PEHD, du grillage et du câble de détection. Pour les secteurs délicats (passage d'ouvrages, de réseaux, accès difficiles…), les tranchées peuvent être réalisées à la mini-pelle ou à la main.

Dans les tranchées réalisées sur le chemin de service ou sur ouvrages, un sciage de la couche de roulement ou de revêtement de surface doit être réalisé préalablement à la tranchée. Il peut aussi réaliser des tranchées moins profondes en fonction de l'ouvrage à franchir.

Les fouilles pour recevoir les chambres, peuvent être réalisées à la mini-pelle et sont de dimension les plus faibles possibles.

Le compactage des tranchées est réalisé selon le guide « **Remblayage des tranchées et réfection des chaussées** » du SETRA. L'objectif étant d'obtenir une portance du sol après tranchée égale à celle d'origine. Dans la majorité des cas, les matériaux extraits sont réemployés pour le remblayage des tranchées afin de limiter les apports de matériaux.

Cas particulier des micro-tranchées :

La réalisation de tranchées de faibles dimensions, appelée Génie Civil allégé est encadrée par la norme, référencée NF P 98-331.

Elle permet, sur les secteurs ou une remise en circulation rapide est nécessaire, d'assurer la réalisation de la fouille, la pose des fourreaux + dispositif avertisseur et le remblaiement quasi simultanément. L'évacuation des déblais est assurée à l'aide d'un camion aspirateur interconnecté à l'outil de coupe. La micro-tranchée est caractérisée par une largeur généralement comprise entre 5 et 15 cm pour une profondeur de quelques dizaines de cm (généralement moins de 40 cm).

Le remblaiement est assuré au moyen d'un matériau fourni par l'industrie du béton prêt à l'emploi (BPE). Il est coloré, autocompactant, non essorable, à acquisition rapide de portance et ré-excavable. Le type de produit choisi garantit le comblement des vides, l'enrobage de la canalisation et un comportement homogène avec le reste de la chaussée.

Une reprise de la couche de roulement est ensuite réalisée.

6.5.4.b Forage dirigé

Il est fait appel au forage dirigé pour des franchissements >10 m environ en ligne droite. Pour la réalisation des forages dirigés, les préconisations suivantes doivent être appliquées :

- **disposer d'un plan de forage avec une coupe longitudinale indiquant la position des obstacles et des ouvrages existants compte tenu de leur fuseau de précision et une vue en plan, conformément aux éléments communiqués par le responsable du projet ;**
- utiliser de préférence les machines mini ou midi pour des forages à faible profondeur, pour des canalisations ≤ 200mm. Pour des forages plus importants en longueur, et surtout en diamètre pour lesquels une machine maxi serait jugée nécessaire, il faut envisager de passer plus profond en s'affranchissant des ouvrages existants ;
- déterminer à l'avance les rayons de courbures, en tenant compte de la nature du terrain et de la canalisation à poser *(longueur, diamètre, matériau, contraintes acceptables)* ;
- choisir l'outil de forage et l'aléseur en fonction de la nature du terrain ;
- adapter le fluide de forage en fonction de la nature du terrain ;
- adapter la vitesse d'alésage dans les courbes et en fonction du débit de fluide ;
- **surveiller en permanence la trajectoire lors du forage pilote ;**
- **surveiller en permanence la pression, le débit et le retour du fluide de forage ;**
- **vérifier que la réception du signal de la sonde n'est pas perturbée *(brouillage électromagnétique près de lignes HT, de voies SNCF…)* ;**
- étalonner la sonde et le récepteur sur le chantier en configuration de travail ;
- faire vérifier annuellement le matériel de mesure *(sondes et récepteur)* par un organisme agréé par le fabricant, ou selon une procédure interne validée par ce dernier ;
- surveiller les tassements en surface et les résurgences éventuelles de fluide ;
- **Dimension du fuseau de la technique :**

Il s'agit de la distance entre la génératrice du dernier alésage et celle de l'ouvrage existant *(pris sur l'axe les reliant)*. En cas de courbe, il faut tenir compte du risque de rectification de cette courbe lors des alésages.

Croisement de l'ouvrage existant		Tir parallèle à l'ouvrage existant	
Aléseur < 300 mm	Aléseur > 300 mm	Aléseur < 300 mm	Aléseur > 300 mm
40 cm	Diamètre de l'aléseur	40cm	Diamètre de l'aléseur
+ précision de localisation de l'ouvrage existant			

6.5.4.c Fusée pneumatique

Il est fait appel à la fusée pneumatique pour des franchissements entre 0 et 10 m environ en ligne droite. Pour la réalisation des franchissements par fusée pneumatique, les préconisations suivantes sont à respecter:

- placer la sonde en tête ;
- quand cela est possible, lancer la fusée du côté le plus proche de la canalisation à croiser. Quand il y en a plusieurs, choisir le côté le plus proche de celle qui présente le plus de risques ;
- **utiliser cette technique à une profondeur ≥ 10 fois le diamètre de la fusée ;**
- positionner avec soin la fusée en utilisant un affût de départ, installé sur un plancher ou un radier stable au préalable nivelé et compacté ;
- **régler l'orientation avec un niveau et un système de visée ;**
- **surveiller en permanence la fusée et sa trajectoire à l'aide d'un récepteur ;**
- **vérifier que la réception du signal de la sonde n'est pas perturbée *(brouillage électromagnétique près de lignes HT, de voies SNCF...) ;***
- étalonner la sonde et le récepteur sur le chantier en configuration de travail, et vérifier son bon fonctionnement ;
- faire vérifier annuellement le matériel de mesure *(sondes et récepteur)* par un organisme agréé par le fabricant ou selon une procédure interne validée par celui-ci ;
- **Dimension du fuseau de la technique :**

20 cm	**+ 2 fois le diamètre de la fusée**	**+ précision de localisation de l'ouvrage existant**

Ces distances restent valables en cas de tracé parallèle.

6.5.4.d Pose des gaines

<u>Gaines enterrées PEHD ou TPC :</u>

Les gaines sont posées en font de fouille puis recouvertes par les matériaux extraits préalablement ou par des matériaux d'apport. Le grillage avertisseur et un fil de détection à 20 cm minimum de la surface finie est posé avant remblaiement complet. Enfin, il effectue le compactage de la surface ou la remise en état de la zone, à l'identique de l'état initial.

Les rayons de courbures de gaines doivent respecter les rayons courbures minimums admissibles par le fabricant de câbles et fibres optiques.

Toutes les extrémités de toutes les gaines seront obturées immédiatement à l'issue des travaux de génie civil par des bouchons de plastique au diamètre adapté. Les extrémités des gaines laissées en attente ne sont en aucune circonstance abandonnées en pleine terre. Il est impératif que les gaines dépassent des masques des chambres d'au moins 15 à 20 cm.

<u>Gaines extérieurs ICTA :</u>

Lors de la pose des câbles à fibres optique dans des cheminements existants (caniveaux d'ouvrage, portique de franchissement, chemin de câbles, etc.), il est mis en place systématiquement une protection de la fibre par gaine fendue ICTA verte diam 25 mm. Cette gaine est fermée par des colliers type RYLSAN tous les mètres.

6.5.4.e Pose des chambres

Les chambres sont posées sur une structure en béton de propreté de 15 cm environ, positionnées et ajustées de manière à obtenir une altitude commune entre le terrain naturel ou chemin de service et le dessus du tampon

de recouvrement de la chambre. Un compactage des abords de la chambre doit être effectué pour éviter tout affaissement du terrain. Les cadres des tampons sont obligatoirement scellés par bétonnage.

6.5.4.f Pose des protections mécaniques

Les protections mécaniques (OMEGA/PRC, tube MRL, IRL, chemin de câble, goulotte) doivent être fixés solidement et proprement aux ouvrages les recevant. Ils sont communicants avec les réseaux attenants pour assurer une continuité de la protection de la fibre. Tous les angles doivent respecter les rayons de courbure des câbles à fibre optique utilisés et font obligatoirement l'objet d'un raccord pour assurer la continuité de la protection.

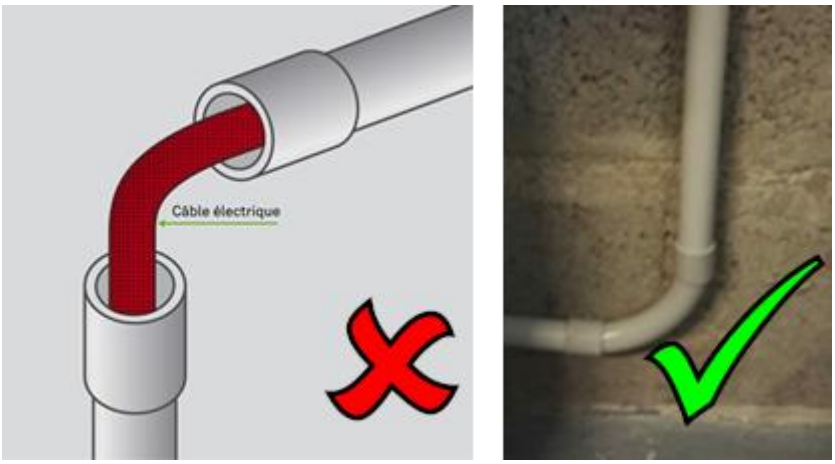

Figure 22 : Exemple de cheminement à respecter

6.5.4.g Test du réseau PEHD ou TPC avant pose de la fibre

<u>Contrôle des fourreaux - Test de calibrage</u>

Le calibrage permet de vérifier la non-obturation, l'ovalisation des fourreaux et le respect du rayon de courbure. Il s'agit de contrôler le libre passage, dans la conduite, d'un calibre constitué d'une tige comportant un disque central de diamètre D (contrôle de l'ovalisation) et de deux disques latéraux de diamètre d (contrôle des rayons de courbure).

Le calibrage est réalisé après le remblayage et le compactage et avant la réalisation des réfections des surfaces définitives (pour des ré interventions de réparation).

- La fiche contrôle établie pour chaque tronçon de vérification doit comporter notamment :
- Le repérage des chambres d'origine et d'extrémité avec les masques ;
- La désignation du gabarit propulsé ;
- La longueur de la section en essai ;
- Les dessins des masques avec la désignation des types de fourreaux ;
- Les observations éventuelles.

Après calibrage, l'aiguillage du tube peut être réalisé (à l'aide d'une drisse nylon).

Le test de calibrage des fourreaux est réalisé avec un furet. Le cas échéant, il peut être complété avec un mandrin.

Pour la propulsion du furet, les caractéristiques de l'air de propulsion de l'ensemble mandrin – furet doivent être 7 bars pour fourreaux de diamètre intérieur > 40 mm et 4 bars pour fourreaux de diamètre intérieur < 40 mm, avec un débit maximum de 3500 litres/minute. La pression et le débit doivent être régulés.

Pour le calibrage, il faut prendre les précautions suivantes :

- L'extrémité de sortie doit être prolongée par un dispositif de récupération et d'amortissement du furet ;
- Le personnel doit être écarté de l'extrémité de sortie du furet pour éviter tout accident : toutes les dispositions d'ordre réglementaire concernant l'usage de l'air comprimé doivent être respectées ;

- En cas de blocage, il est nécessaire de repérer le furet afin de réparer la conduite.

Pour ce faire, il existe deux méthodes :

- Envoi d'une sonde émettrice :
  - L'envoi d'un autre furet muni d'une sonde émettrice pour localiser le défaut permet de détecter le furet de façon approximative ;
  - La conduite est obstruée par le furet-calibre, le volume d'air se trouvant entre le calibre et la sonde se comprime jusqu'à l'équilibre de pression entre l'air d'entrée et l'air entre les deux appareils, ce qui implique que la sonde n'atteint le calibre qu'approximativement. De plus, il est nécessaire de conserver la pression d'air pendant la localisation de la sonde, car elle pourrait repartir en arrière.
- Utilisation d'un calibre muni d'une sonde émettrice afin d'éviter les inconvénients de la méthode précédente. Il est possible d'accrocher une sonde émettrice à l'arrière du calibre. Dans ce cas, il faut propulser l'ensemble à une vitesse plus lente pour éviter la détérioration de la sonde.

Contrôle des fourreaux - Test de pression et d'étanchéité (fourreaux PeHD)

À l'issue des tests de calibrage, lorsqu'ils sont satisfaisants, les fourreaux PeHD doivent être testés en étanchéité. Les tests d'étanchéité sont réalisés sur la totalité des fourreaux PeHD posés.

L'opération doit se faire par section continue entre chambres (la distance est limitée par la capacité maximum admissible des compresseurs d'air) selon la procédure suivante :

Conditions d'essai :

- Mise en pression à 4 bars
- Équilibrage thermique de l'air contenu (durée établie selon les conditions climatiques : 1h environ)
- Relevé de la pression par manomètre étalon : valeur à l'heure de début
- Contrôle de la pression après 1 heures : valeur à l'heure de fin

La chute de pression entre la valeur finale et la valeur initiale de test doit être inférieure à 10% de la valeur initiale.

- Si une très faible perte de pression est détectée, l'essai peut être prolongé (par exemple, pour compenser un problème d'équilibrage) ;
- Si la chute de pression est supérieure à 10% de la valeur initiale, la fuite doit être détectée et réparée.

Exemple :

Un manchon de raccordement des fourreaux défectueux ou mal installé. Il est important d'avoir repéré la position de ces manchons lors de la pose. En général, la fuite se situe au raccordement des fourreaux.

Enfin, il est également important de vérifier la présence de bouchons au niveau des extrémités.

6.5.5 Travaux de réseau optique

6.5.5.a Choix des modes de pose

Lors de l'établissement de chaque bon de commande, il sera recherché le meilleur compromis technique, économique et de sécurité physique du réseau pour définir les modes de pose (enterré et/ou immergé).

Dans la mesure du possible, il est recommandé de retenir le mode de pose immergé dans les sections courantes de voies d'eau. Dans les rétrécis (passage sous ouvrage d'art notamment), il est recommandé de procéder à une remonté du réseau sur la berge et de procéder à une pose enterrée.

Selon la configuration de la voie d'eau à traiter, le câble à fibre optique immergé sera posé hors du chenal de navigation ou au milieu du chenal si une sur-profondeur existe. Les choix des modes de pose seront définis par VNF et feront l'objet de discussion lors de la phase de pré-étude avec l'entreprise.

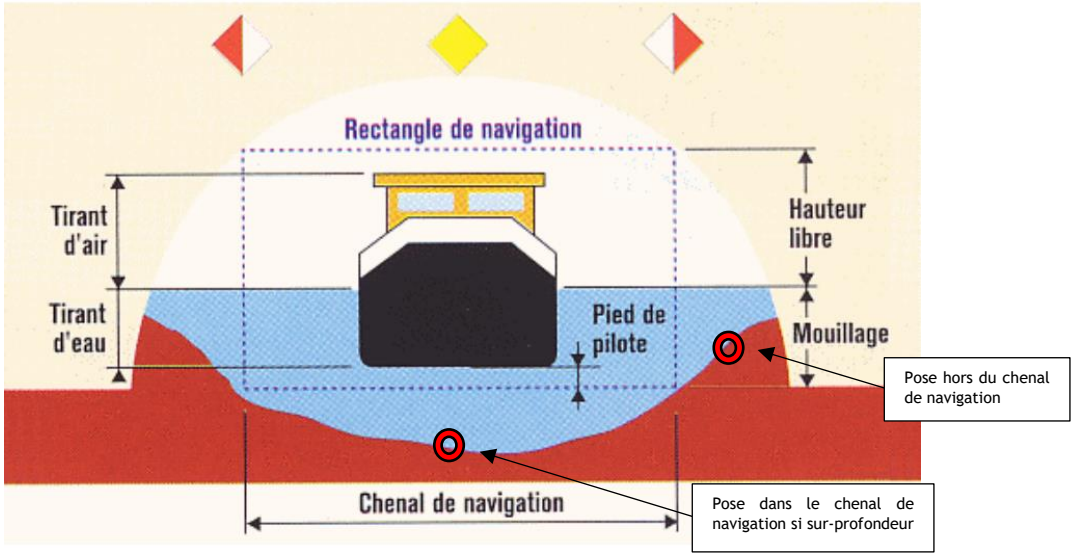

Figure 23 : Choix des modes de pose

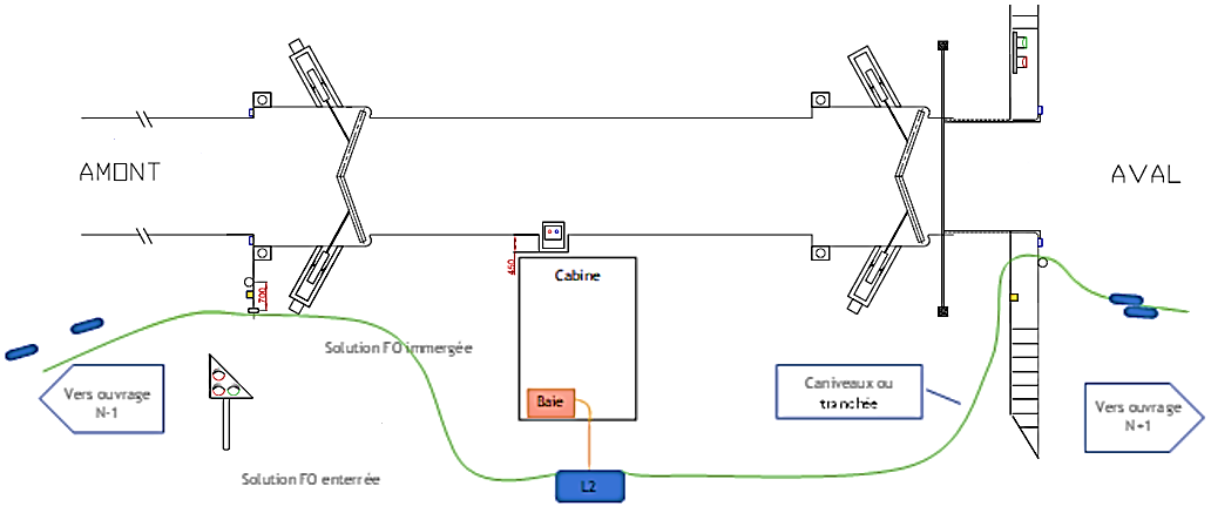

Figure 24 : Principe de cheminement sur écluse

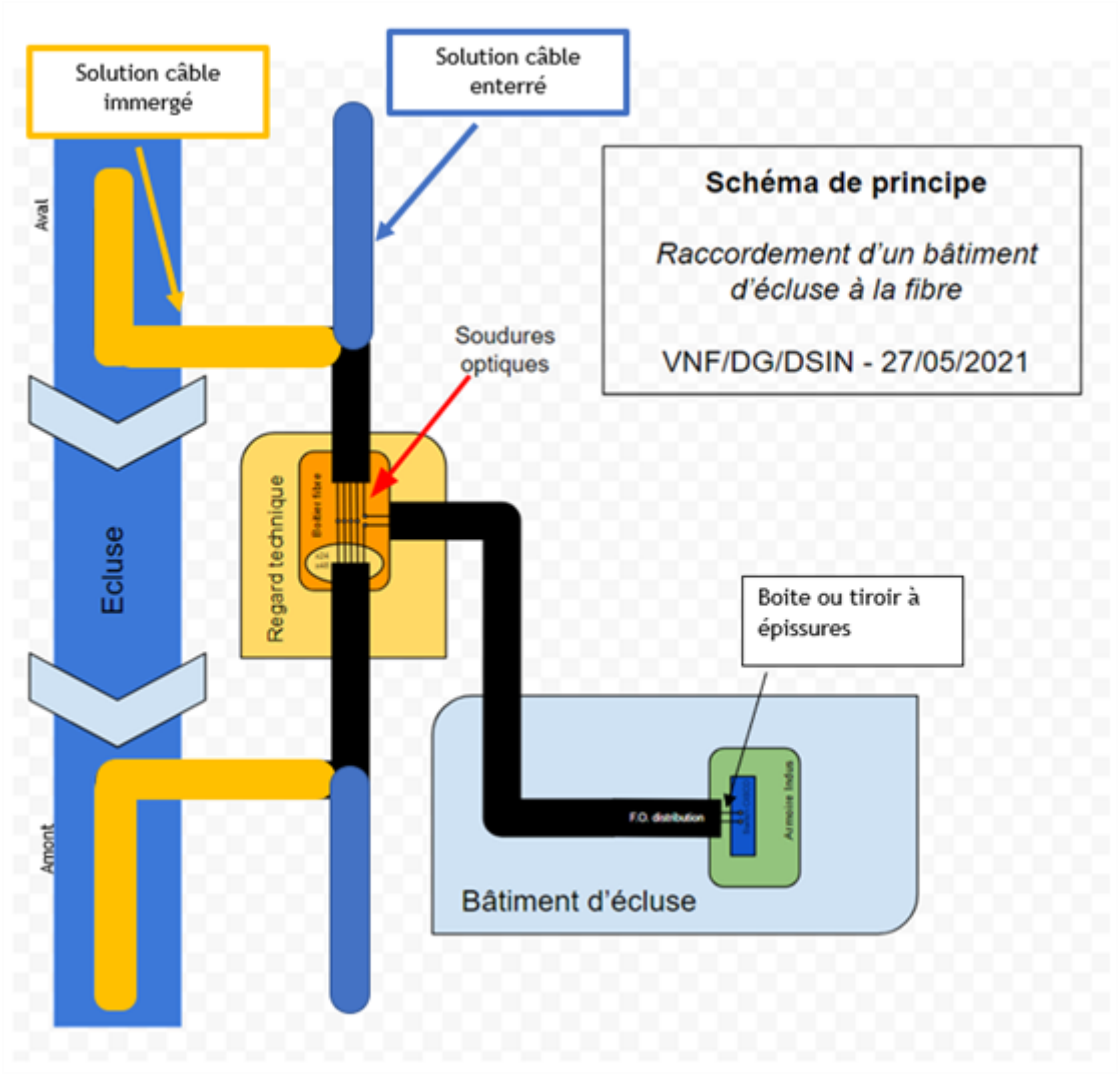

Figure 25 : Principe de raccordement sur écluse

Selon les configurations rencontrées, des principes de cheminement et de raccordement différents pourront être demandés et réalisés.

6.5.5.b Pose de la fibre enterrée sous gaines PEHD ou existantes

La mise en œuvre de la fibre se fait dans le respect des consignes établies par le constructeur.

Les rayons de courbures doivent respecter les consignes établies par le constructeur.

Avant la pose, il faut s'assurer que les gaines sont propres et vides de toute eau ou déchets par l'envoi de tampons de mousse à l'aide d'air comprimé.

La pose de la fibre se fait de préférence par soufflage, en respectant les limites admissibles en traction de la fibre et au maximum de pression d'air admissible par la gaine. Un lubrifiant adapté doit être utilisé pour faciliter la pose de la fibre dans les gaines.

Le passage de la fibre, aussi bien dans les gaines enterrées et extérieures, que dans les bâtiments du maître d'ouvrage doit être assuré.

Par conséquent, il prend toutes les dispositions nécessaires aux bons maintiens de la fibre dans les locaux concernés par les travaux

Dans les chambres ou la fibre est laissée en attente de connexion, une protection contre toutes dégradations de la fibre doit être effectuée.

Règle de lovage :

Dans toutes les chambres traversées, une réserve de câble optique de 5 m minimum sous forme d'un lovage doit être mis en place. De plus une réserve de 5 m doit être mise en place dans tous les bâtiments traversés (écluse, barrage, bureaux, etc.). Les loves de câble sont correctement enroulés et arrimés à la chambre ou dans le local concerné tout en respectant les rayons de courbures du câble.

Figure 26 : Exemple de lovage et de boîte à épissures (BPEO)

6.5.5.c Raccordement optique

La méthode de fusion par arc électrique est utilisée pour réaliser les épissures. L'alignement des fibres est obtenu par le procédé dit « PAS » (Profil Alignement Système) ou « cœur à cœur » consistant en une analyse du profil de la fibre sur trois axes. Toutes ses opérations sont réalisées en automatique sur un banc monobloc de chantier (soudeuse de type FUJIKURA ou SUMIMOTO ou équivalent).

La préparation de la face optique est quant à elle, obtenue « manuellement » à l'aide d'une cliveuse à chariot de haute précision.

6.5.5.d Contrôle par réflectométrie

La réflectométrie est réalisée à l'aide d'un réflectomètre optique temporel (OTDR) et des bobines d'amorces correctement calibrés et dimensionnés.

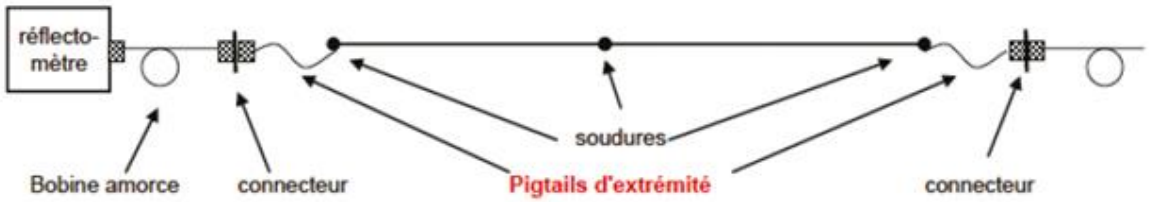

Figure 27 : Schéma mesure réflectométrie

Les mesures sont réalisées avec une largeur d'impulsion adaptée à la longueur de la liaison : typiquement entre 20 et 100 ns pour une longueur de fibre comprise entre 2 et 10 km.

Avant pose et après livraison :

Un contrôle par réflectométrie est effectué pour s'assurer que depuis la sortie d'usine, le câble optique n'a pas été détérioré ni au cours du transport, ni au cours de stockage sur le chantier.

La vérification consiste en une mesure par réflectométrie de l'ensemble des fibres du câble, à deux longueurs d'onde et dans les deux sens du circuit. Cette mesure est effectuée sur fibre nue.

La mesure permet de valider les points minimums suivants (répertoriés dans un rapport) :

- La longueur de la liaison

- L'affaiblissement linéique de chaque fibre, dans la limite des paramètres « mesurables »
- L'absence de contrainte subie par la fibre – incident ponctuel.
- La mesure est testée dans le deux sens du circuit

La vérification s'effectue dans les conditions suivantes :

- Longueur d'onde de mesure 1550 nm ± 20 nm et 1310 nm ± 20 nm ;
- Aucun défaut n'est accepté.

Après pose de la fibre et réalisation de toutes les épissures (boites de jonction, tiroir optique et/ou boite à épissure), le contrôle par réflectométrie est réalisé sur l'ensemble des fibres du câble, à deux longueurs d'onde 1550 nm et 1310 nm et dans les deux sens du circuit.

Le bilan optique de l'ensemble du système est vérifié en comparant l'affaiblissement linéique théorique et mesuré de chaque liaison selon la formule suivante :

Affaiblissement théorique de la liaison (dB) =
$\alpha.L + \alpha e * Xe + \alpha c * Xc$

Avec :
- α : Affaiblissement linéique de la fibre
- L : Longueur optique du tronçon à mesurer
- αe : Affaiblissement lié à l'épissure
- αc : Affaiblissement lié au connecteur
- Xe : Nombre d'épissures total sur le tronçon à mesurer
- Xc : Nombre de connecteurs sur le tronçon à mesurer

Le tableau ci-dessous donne les valeurs moyennes d'affaiblissement pour les différents composants.

		Mesure à 1310 nm		Mesure à 1550 nm	
		Valeur max	Valeur moyenne	Valeur max	Valeur moyenne
α	Affaiblissement linéique	0,4 dB/km	0,36 dB/km	0,25 dB/km	0,19 dB/km
αe	Atténuation d'une épissure	0,2 dB	0,1 dB	0,2 dB	0,1 dB
αc	Atténuation d'un connecteur SC/APC 8° grade C1	0,5 dB	0,35 dB	0,5 dB	0,35 dB
αc	Atténuation d'un connecteur SC/APC 8° grade B1	0,25 dB	0,12 dB	0,25 dB	0,12 dB

Les valeurs maximales sont conformes aux normes NF-EN 60793-2-50 et NF EN 61753 131 3.

Les tests permettent de vérifier que les tronçons de câbles ont été posés sans contraintes et que les opérations de raccordement en cassette, de nettoyage et de fusion ont été réalisées suivant.