

## Chapitre 3

### Le modèle de référence ISO/OSI

#### 3.1. Introduction

Il est très vite apparu aux concepteurs des premiers réseaux que, sans un accord sur les protocoles utilisés, leur mise en œuvre était difficile. Chaque constructeur informatique a développé au début des années 1970 sa propre solution en adoptant une architecture et des protocoles privés (TCP/IP du DoD, XNS de Xerox, SNA d'IBM, DECnet de DEC, DSA de Bull...). Le résultat est que ces réseaux ne peuvent pas communiquer entre eux (on dit aussi interopérer). Il était donc nécessaire de disposer d'une norme internationale pour permettre l'interconnexion des réseaux. Le but est que les utilisateurs de différents systèmes d'information puissent communiquer entre eux ou avec les services offerts par d'autres systèmes d'information (ordinateurs), le résultat devenant un nouveau système d'information ouvert à l'échange d'informations, à l'accès aux ressources distantes, à la répartition des traitements... On parle aussi de systèmes répartis faiblement couplés car ils n'imposent pas d'architecture à chaque composant, ni de synchronisation ni de mémoires communes.

La compatibilité entre équipements hétérogènes (constructeurs différents, fonctions et générations différentes) ne peut être assurée que par la définition de normes d'interconnexion qui définissent le comportement de chaque équipement vis-à-vis des autres.

Pour assurer une compatibilité maximum, tout en minimisant les contraintes sur les produits devant respecter les normes d'interconnexion, l'ISO a choisi de considérer uniformément tout équipement (ou ensemble d'équipements) à interconnecter avec d'autres comme un système qu'on pourra qualifier d'ouvert, s'il respecte les normes d'interconnexion. Suivant la définition de l'ISO, un système ouvert peut être : un ordinateur, un terminal, un réseau, etc.

#### 3.1.1. L'architecture

Le premier objectif de l'ISO (*International Standard Organization*) dans le développement de normes pour l'Interconnexion de Systèmes ouverts, appelée OSI

7 Application
6 Présentation
5 Session
4 Transport
3 Réseau
2 Liaison
1 Physique

**Figure 3.1.** Couches du modèle de référence ISO / OSI

(*Open System Interconnection*), a été de définir une architecture de réseau normalisée. Cette architecture hiérarchique, connue sous le nom du «Modèle de Référence pour l'Interconnexion de Systèmes ouverts» (plus couramment appelée modèle ISO/OSI) est composée de sept couches remplissant chacune une partie bien définie des fonctions nécessaires à l'interconnexion de systèmes ouverts, comme illustré sur la figure 3.1. Depuis, ce modèle a fait l'objet de nombreuses discussions : des couches ont été ajoutées pour certains réseaux, les fonctions ont pu être déplacées d'une couche vers une autre... L'évolution la plus remarquable réside dans la séparation des fonctions en trois plans fonctionnels :

- communication et transfert de données : ce plan reprend les services du modèle ISO et permet le transfert effectif de données,

- commandes usagers – on utilise aussi le terme «signalisation» : il permet l'établissement, la rupture, de manière générale le contrôle des communications qui sont fournies dans le plan communication,

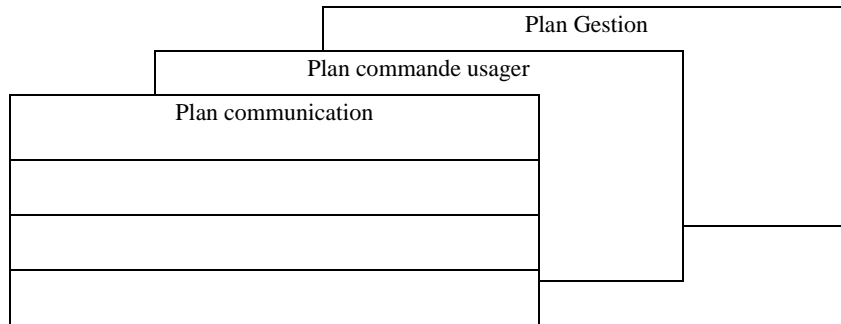
- gestion (administration du réseau, suivi de la comptabilité, mesure des performances, installation et modification des configurations...) : nous ne l'aborderons pas dans ce livre.

Les plans commande et gestion utilisent en général pour la mise en œuvre de leurs protocoles les services du plan communication. Les fonctions peuvent être :

- intégrées dans les protocoles qui constituent la voie de communication, on parle de contrôle ou de signalisation dans la bande (*in-band signaling*),

- réalisées sur des voies spécialisées, dédiées à cette fonction, on parle alors de signalisation hors bande (*out of band signaling*).

Néanmoins, jamais les principes de base qui sont décrits dans le paragraphe suivant n'ont été remis en cause. Il sont donc valables dans tous les réseaux.



**Figure 3.2.** Notion de plans. Chaque plan offre des services fonctionnels spécifiques

### 3.1.2. Principes de la structuration en couches

Nous décrivons ici un certain nombre de notions universelles qui fondent les architectures des réseaux. Le vocabulaire utilisé dans les normes n'est pas nécessairement utilisé par les constructeurs. On trouve pourtant dans leurs architectures les mêmes principes.

#### 3.1.2.1. Définitions

**Système (N) :** est dans un composant constitué de matériel et de logiciel du réseau. Typiquement un commutateur, un routeur, une station de travail,... sont des systèmes.

**Sous-système (N) :** élément d'une division hiérarchique d'un système n'ayant d'interaction qu'avec les éléments des niveaux immédiatement supérieur et inférieur de cette division. Un sous-système est composé de une ou plusieurs entités.

**Couche (N) :** subdivision de l'architecture OSI, constituée de sous-systèmes de rang (N). On dit qu'une couche fournit un service ou est prestataire de services. Une couche construit au moins une, en général plusieurs voies de communication. Une couche est composée, en général, par un sous-ensemble des entités des sous-systèmes de niveau N. Un sous-système de niveau N peut ainsi participer à plusieurs couches et services de niveau N.

**Entité (N) :** élément **actif** d'un sous-système (N). Considérez qu'il s'agit d'un «processus» et du programme exécuté par ce processus. Ce processus met en œuvre (réalise, exécute) un protocole particulier. On utilisera aussi le terme entité protocolaire. Le programme correspondant implante les spécifications du protocole. Un sous-système peut contenir plusieurs entités protocolaires distinctes. La figure 3.3. montre plusieurs entités protocolaires par couche.

**Service (N) :** capacités que possède la couche (N) [et les couches inférieures à celle-ci] et qui sont fournies aux entités (N + 1) à la frontière entre la couche (N) et la

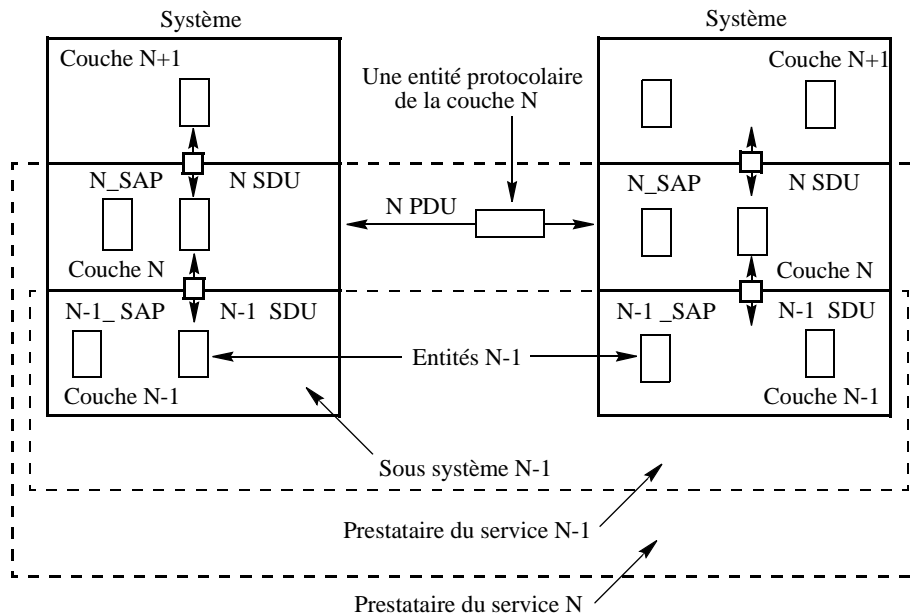


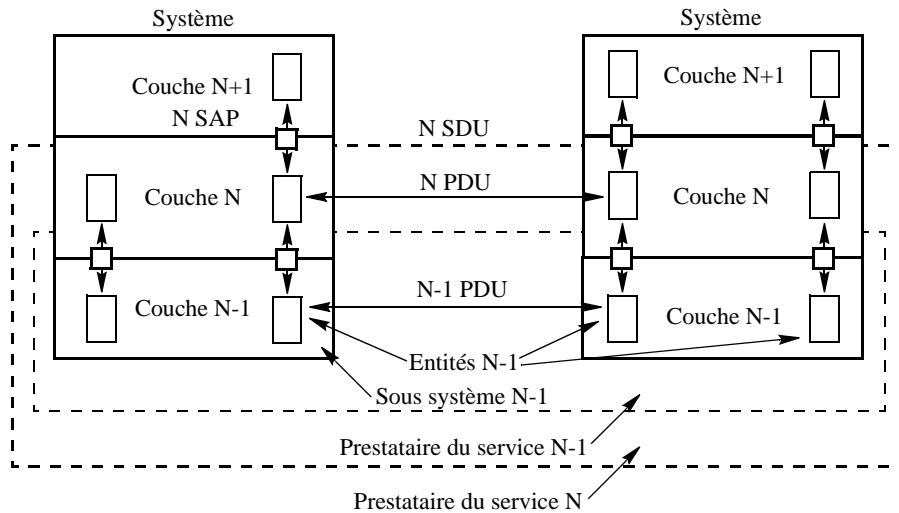
Figure 3.3. Détail des composants dans l'architecture du modèle OSI

couche (N + 1). Ces services sont invoqués par des **primitives** spécifiques du service. Ces services permettent d'utiliser la ou les voies créées par la couche (N). Le service est mis en œuvre par l'ensemble des entités, sous-systèmes et couches qui le composent.

**Facilités (N)** : éléments d'un service (N).

**Point d'accès à des services [SAP(N)]** en anglais : *Service Access Point* : le point où les services (N) sont fournis par une entité d'un sous-système (N) à une entité d'un sous-système (N + 1). Les blocs de données des utilisateurs des services, appelées unités de services données SDU (*Service Data Unit*), traversent les SAP.

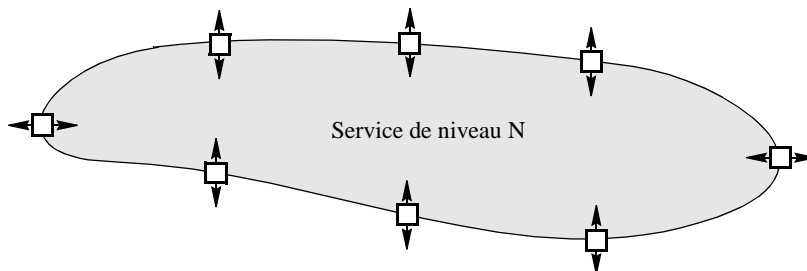
Une couche offre en général plusieurs points d'accès. Une entité protocolaire émet et reçoit des messages sur un ou plusieurs SAP. Plusieurs entités protocolaires de niveaux différents associées par des SAP forment une pile d'entités protocolaires (ou pile de protocoles). La figure 3.3. montre des assemblages en piles d'entités protocolaires. Une même machine peut abriter plusieurs piles. Une entité de niveau N peut participer à plusieurs piles (c'est-à-dire que les entités de niveau supérieur à N sont différentes) pour autant que les entités de niveau inférieur à N soient identiques. Cette architecture correspond à la mise en œuvre du modèle de référence ISO.



**Figure 3.4.** Associations d'entités protocolaires de niveaux différents par l'intermédiaire de SAP

Un service est accessible par l'intermédiaire de ses SAP. Chaque point d'accès peut être assimilé à une adresse du service comme le montre la figure 3.5. On peut dire aussi qu'un service est visible des utilisateurs uniquement par ses SAP.

La boîte à lettres privée correspond au SAP utilisateur du service postal. Cette boîte à lettres possède une adresse qui est partagée par la famille qui habite la maison où elle est située. Pour atteindre cette boîte à lettres l'adresse comprend le numéro de maison dans la rue, la ville, le pays. Les différents membres de la famille ont la même adresse pour la Poste, et donc le même SAP. Le nom est une extension d'adresse qui sera utilisée par un protocole propre à la famille pour répartir le courrier. La Poste ne connaît pas ce protocole de niveau supérieur à son service.



**Figure 3.5.** Vue d'un service de niveau N par les utilisateurs de la couche N+1. Seuls les points d'accès sont visibles

**Protocole (N) :** ensemble de règles et de formats (sémantiques et syntaxiques) prédéfinis déterminant les caractéristiques de communication des entités d'une couche (N) lorsqu'elles effectuent les fonctions de la couche (N). La mise en œuvre d'un protocole est effectuée à l'aide de PDU (*Protocol Data Unit*).

### 3.1.3. Description

La technique de structuration de base du modèle de référence OSI est la structuration en couches (cf. paragraphe 2.2.4.). Selon cette technique, on considère que chaque système est logiquement composé d'un ensemble ordonné de sous-systèmes qu'on représente pour la commodité dans l'ordre vertical, comme indiqué sur la figure 3.4. Les sous-systèmes adjacents communiquent à travers leur frontière commune. L'ensemble des sous-systèmes de même rang (N) constitue la couche (N) du modèle de référence ISO/OSI. Un sous-système (N) est constitué d'une ou plusieurs entités (N). Il y a des entités dans chacune des couches. Les entités d'une même couche sont appelées entités homologues. A noter que la couche de niveau le plus élevé n'a pas de couche (N + 1) au-dessus d'elle et que la couche de niveau le plus bas n'a pas de couche (N - 1) en dessous d'elle.

Sauf dans le cas de la couche de rang le plus élevé, chaque couche (N) fournit des services (N) aux entités (N + 1). Par la suite, nous utiliserons souvent le terme «utilisateur» pour parler d'une entité de la couche N + 1, invoquant un service de la couche N. La couche la plus élevée est supposée représenter toutes les utilisations possibles des services qui lui sont fournis par la couche inférieure.

#### 3.1.3.1. Entités homologues

Les services d'une couche (N) sont fournis à la couche (N + 1) grâce aux fonctions effectuées à l'intérieur de la couche (N) et suivant le besoin, avec l'aide des services offerts par la couche (N - 1). La figure 3.3. représente des entités et protocoles d'une couche. La coopération entre entités (N) est régie par un ou plusieurs protocoles (N). Un protocole est mis en œuvre grâce à des informations gérées par chaque entité homologue (le contexte de communication) et des messages appelés unités de données protocolaires (PDU). En général, on fait précéder le terme PDU par la ou les premières lettres de la couche dans lequel se situe le protocole. Ainsi, N PDU désigne un PDU d'un protocole de la couche N. On appelle entités homologues deux entités :

- situées dans des couches de même rang,
- gérant le ou les mêmes protocoles dans deux systèmes distants,
- remplissant éventuellement les mêmes fonctions et services.

Un protocole ne peut exister qu'entre deux entités homologues. Une architecture telle que décrite sur la figure 3.6. est totalement interdite par le modèle de référence. Un N PDU ne peut être produit et exploité que par des (N) entités homologues et identiques, c'est-à-dire exécutant le même protocole, situées en général dans deux systèmes distincts. La figure 3.7. montre les entités homologues et leurs protocoles.

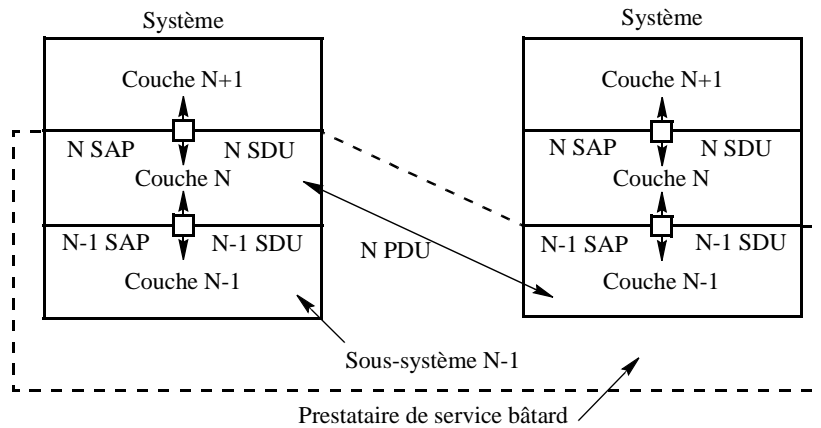


Figure 3.6. Architecture de protocole totalement interdite dans le modèle ISO/OSI

La notion d'entités homologues dans le modèle de référence est essentielle à comprendre. Il s'agit de :

— au moins deux entités – chaque entité est un processus actif – exécutant un même ensemble de règles décrites dans un ou plusieurs algorithmes (programmes). Les entités homologues ne sont pas nécessairement symétriques (identiques) bien que ce soit en général le cas. En pratique, ces programmes agissent conformément aux règles d'un protocole défini et public. Le fait que deux programmes aient été écrits par deux équipes différentes dans des langages différents ne doit pas intervenir. Le comportement des deux entités doit être identique dans un contexte identique ;

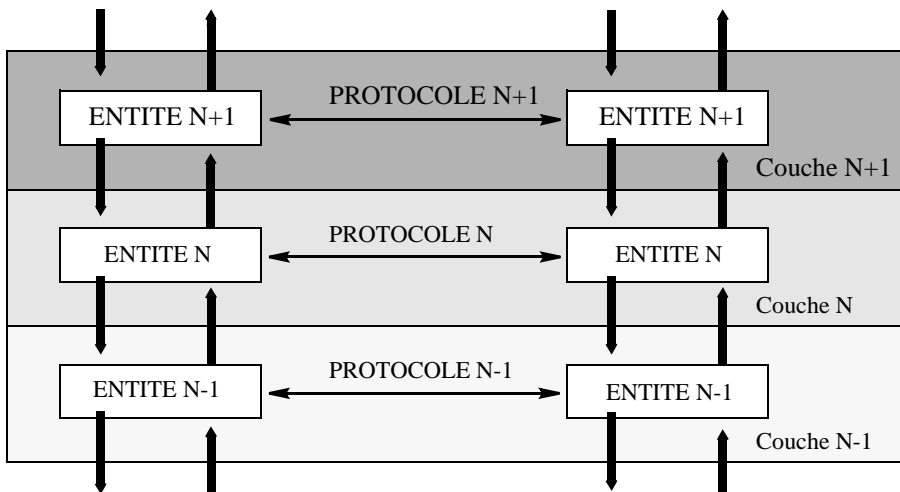


Figure 3.7. Entités homologues et protocoles en couche

— le dialogue entre entités se fait par des PDU. Ces PDU transitent par le service de la couche immédiatement inférieure.

Ne confondez pas entités homologues (en anglais *peer to peer entity*) avec couche de même niveau. Il faut que, dans chaque niveau, les entités soient identiques et que le protocole (algorithme) soit le même. Un sous-système (typiquement la couche implantée dans un équipement, un abonné, une station...) peut contenir plusieurs entités protocolaires différentes : elles ne sont pas homologues entre elles. Un service est constitué d'entités protocolaires homologues.

Par exemple, considérons la communication interpersonnelle directe. Cette application utilise couramment les trois services de communications que sont l'oral en vis-à-vis, l'oral par téléphone et le courrier. Chacun de ces trois services est mis en œuvre conceptuellement par des entités de niveau immédiatement inférieur à l'individu. Ces entités ne sont pas homologues entre service. Elles ne sont homologues qu'au sein d'un même service.

Dans le domaine technique qui nous intéresse, nous rencontrons, en France, très couramment deux protocoles de niveau réseau OSI. Il s'agit de IP (Internet) et de X25 (Transpac). Ces deux protocoles peuvent coexister au sein d'un sous-système (une même machine), ils assurent des fonctionnalités similaires au même niveau du modèle. Pour autant, l'entité X5 et l'entité IP ne sont pas homologues car elles n'exécutent pas le même algorithme (protocole).

Une difficulté majeure des réseaux est de certifier ou de prouver l'identité de comportement de deux implantations d'entités destinées à être homologues. C'est le domaine d'application des techniques formelles de preuves de protocole. Néanmoins, les techniques de preuves et certifications de protocoles ne seront pas abordées.

Dans l'exemple du paragraphe 2.1.2, le chef cuisinier et le gâte-sauce sont des entités homologues. Mais ces entités homologues ne sont pas symétriques. Dans le protocole modifié avec un secrétariat, paragraphe 2.1.3., la secrétaire et le gâte-sauce ne sont pas des entités homologues, pas plus le binôme secrétaire-chef cuisinier. Par contre, les secrétaires sont des entités homologues. La figure 3.8. illustre les notions de couche, d'entité et de service sur cet exemple. Les PDU échangées entre les entités aux différents niveaux sont :

- recettes entre le chef cuisinier et le gâte-sauce, niveau ou service cuisine ;
- lettre au niveau secrétariat, donc dans le service secrétariat ;
- enveloppes pour le service postal.

La figure 3.9. résume les entités, PDU et points d'accès de cette architecture réseau. Trois services sont mis en œuvre.

### 3.1.3.2. Résumé

On appelle entité,  $E(N)$ , un élément actif (programme, ensemble matériel) qui réalise les fonctions d'un protocole de la couche  $N$ . Une entité  $E(N)$  d'un système peut communiquer logiquement avec une entité homologue d'un autre système à l'aide d'un protocole  $P(N)$ .



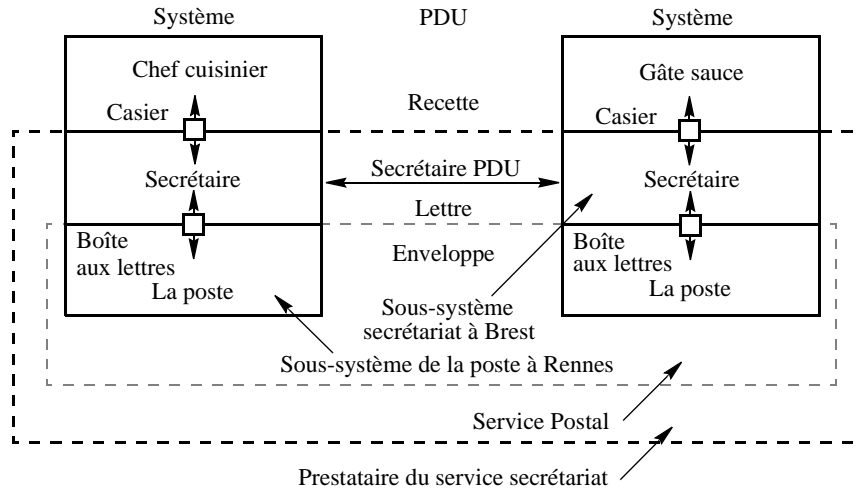


Figure 3.8. Exemple du paragraphe 2.1.3.1 mis en couches

Service	Entités protocolaires homologues	PDU échangées	Points d'accès
Cuisine	Chef cuisinier Gâte-sauce	Recettes	Restaurant
Secrétariat	Secrétaires	Lettres	Casier
Postal	Postiers	Enveloppes	Boîtes à lettres

Figure 3.9. Composant des services

Le protocole P(N) définit les règles et les formats caractérisant les communications entre entités homologues.

### 3.1.4. Communications entre entités homologues

Elle se fait par des voies de communication fournies par le service de la couche immédiatement inférieure. Une **connexion**<sup>1</sup> est une association établie par la

1. On notera ici que le terme connexion n'implique pas nécessairement un service sur connexion garantissant les propriétés de séquençement et correction d'erreur que nous verrons ultérieurement.

couche (N) entre deux ou plusieurs entités pour le transfert de données à travers une ou plusieurs voies fournies par les services utilisés.

**Adresse (N) :** l'adresse de point d'accès à des services (N) est un identificateur indiquant où se trouve un point d'accès (SAP) à des services (N). Une adresse peut être constituée d'une succession d'adresses de niveaux inférieurs. Une entité (N-1) doit être associée à au moins une adresse du service N pour être accessible et envoyer des PDU. On utilise aussi le terme « *porte* » (*port* en anglais) pour désigner un point d'accès à un service.

**Identificateur de connexion pour le protocole (N) :** identificateur spécifiant de manière unique une connexion (N) dans le contexte d'une connexion (N - 1) éventuellement multiplexée.

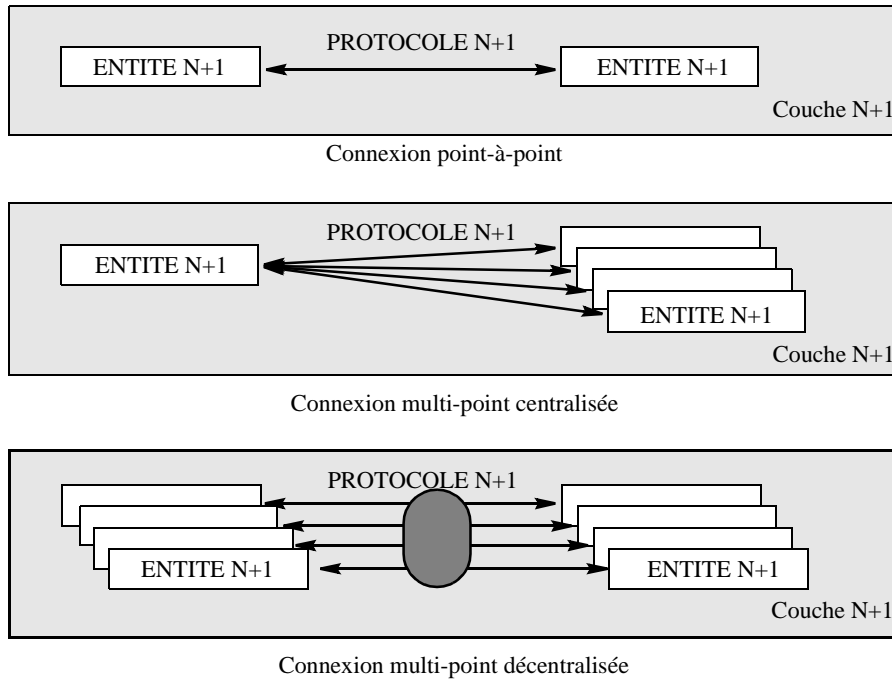
Pour pouvoir disposer d'une voie de communication et contrôler les échanges des informations appelées SDU (*Service Data Unit*) entre deux ou plusieurs entités (N + 1), il faut établir entre elles une association dans la couche (N), en suivant un protocole (N). Cette association est appelée une **connexion** (N). Les connexions (N) sont établies par la couche (N) entre au moins deux points d'accès à des services (N). **Une adresse de point d'accès à des services** (N), ou plus brièvement adresse (N), identifie le point particulier d'accès au service (N) auquel une entité (N + 1) est liée (cf figure 3.5. : chaque SAP du service est une adresse). Ainsi, sur la figure 3.8., l'adresse complète du chef cuisinier se compose du SAP désignant la ville de Rennes (SAP du service postal), SAP désignant le secrétaire (SAP du service secrétariat) et enfin SAP du chef cuisinier.

L'utilisation d'une adresse (N) pour identifier une entité (N + 1) est le mécanisme le plus efficace si la permanence du lien entre l'entité (N + 1) et le point d'accès aux services (N) peut être assurée. S'il y a nécessité d'identifier une entité (N + 1) quel que soit l'emplacement où elle se trouve à ce moment-là, c'est alors une appellation globale qui assure l'identification correcte.

**Connexion point à point :** connexion qui associe deux entités homologues et uniquement deux entités homologues. On dit aussi connexion 1<->1. La plupart des services actuels sont point à point. Le service rendu aux utilisateurs est une voie point à point.

**Connexion multipoint centralisée :** connexion dans laquelle les données envoyées par l'entité associée à l'extrémité centrale de la connexion sont reçues par toutes les autres entités, alors que les données envoyées par l'une des autres entités ne sont reçues que par l'entité centrale. On parle aussi de connexion 1<->m, ou de diffusion universelle, ou dans un groupe (*multicast*). La radio est typiquement un service de communication offrant un service de diffusion unidirectionnelle universelle. Le service rendu aux utilisateurs est une voie multipoint/diffusion unidirectionnelle.

**Connexion multipoint décentralisée :** connexion multipoint dans laquelle les données envoyées par une entité associée à n'importe quelle extrémité de la connexion sont reçues par toutes les autres entités. On dit aussi connexion n<->m. Le service



**Figure 3.10.** Types de connexions

rendu aux utilisateurs est une voie à diffusion universelle (*broadcast*) ou sélective (*multicast*).

Nous pouvons maintenant formaliser quelques notions vues au chapitre précédent.

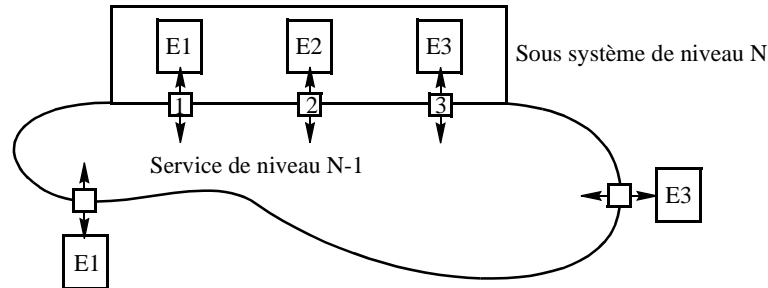
**Multiplexage** : cette notion que nous avons définie dans le paragraphe 2.3.3. devient une fonction d'une couche (N) permettant de prendre en charge plusieurs connexions (N) sur une seule voie (N - 1).

**Eclatement**<sup>1</sup> : fonction de la couche (N) permettant d'utiliser plusieurs connexions (N - 1) pour prendre en charge une connexion (N) (cf. paragraphe 2.3.3.3.).

**Recombinaison** : fonction accomplie par une entité (N) identifiant des unités de données du protocole (N) correspondant à une connexion (N) unique parmi des unités de données du service (N - 1) reçues sur plusieurs connexions (N - 1). C'est la

---

1. Le terme éclatement est également employé dans un sens plus restrictif pour désigner la fonction accomplie par l'entité (N) expéditrice, alors que le terme recombinaison est employé pour désigner la fonction accomplie par l'entité (N) destinataire.



**Figure 3.11.** Pour être distinguable chaque entité d'un sous système doit disposer de son propre point d'accès sur le service de niveau N-1

fonction inverse de la fonction d'éclatement accomplie par l'entité (N) qui envoie les unités de données du service (N - 1) (cf. paragraphe 2.3.2.).

Cette communication est réalisée grâce aux services offerts par la couche N - 1.

#### 3.1.4.1. Multiplexage sur un service

Un même service peut être utilisé par plusieurs entités. On peut dire de manière équivalente qu'un même service fournit des voies à plusieurs entités. En particulier, un sous-système de niveau N peut inclure de nombreuses entités. Chacune de ces entités doit disposer d'un N-SAP privé pour pouvoir être distinguée des autres entités par le service N - 1. Ainsi, plusieurs entités peuvent invoquer les services du niveau N - 1, et leurs messages, N-PDU, seront multiplexés dans ce service. La figure 3.11. montre que le sous-système composé de 3 entités dispose de 3 points d'accès sur le service N-1. Par exemple, au protocole IP (niveau 3) d'Internet est associée une série d'entités protocolaires (ARP, RARP...) qui contribuent au bon fonctionnement du service réseau. Chacune de ces entités dispose de son propre point d'accès sur le service inférieur à IP.

### 3.2. Interactions entre couches

Une couche fournit un ensemble de services au niveau supérieur. Ces services sont invoqués par des primitives. On désigne usuellement ces primitives par un nom précédé de la première lettre du nom de la couche. Ainsi, T.CONNECT est une primitive de la couche transport, N.DATA est une primitive de la couche réseau (Network). Les primitives sont les manifestations d'une interaction entre deux couches adjacentes. Selon le sens et la nature de l'interaction, quatre types de primitives sont utiles (cf. figure 3.12.).

Une primitive de type requête permet à la couche  $i + 1$ , utilisatrice des services de la couche  $i$ , de manifester une commande. La partie donnée, donc le message (cellule, paquet, trame selon le contexte d'application) transporté d'une primitive, est appelé SDU précédée de la première lettre du nom de la couche. Le SDU contient la donnée soumise par l'utilisateur du service, ou donnée utile, à transmettre. Ainsi, un N SDU

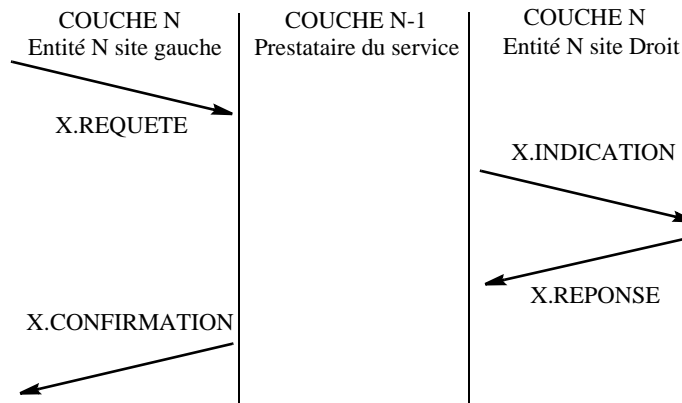
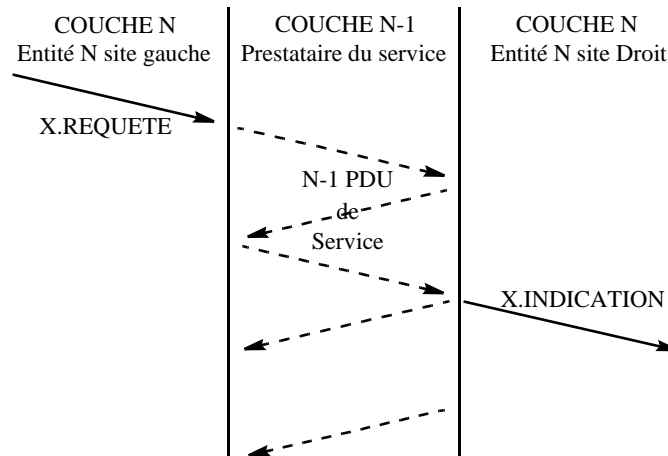


Figure 3.12. Interactions entité - prestataire de service pour la primitive X

est un bloc de données soumis à la couche réseau par la couche transport et, réciproquement, délivré par la couche réseau à la couche transport. Le contenu est totalement transparent au fournisseur de service. Pour exécuter son protocole, le prestataire de service peut échanger avec ses homologues (entités homologues de la couche de même niveau) des messages de protocoles appelés PDU précédés de la première lettre du nom de la couche. Ainsi, un L PDU est une unité de données protocole utilisée par la couche liaison. Ce L PDU peut contenir un L SDU dans sa partie donnée. Dans ce cas, on appelle enveloppe les informations propres au L PDU ajoutées par l'entité protocolaire liaison émettrice : L PDU = L SDU + enveloppe. L'enveloppe ajoutée par le prestataire de service ne sera utilisée que par lui-même. Le fournisseur de service peut générer les PDU qui lui sont nécessaires à l'exécution correcte de son service (cf. figure 3.13.).

Autrement dit, deux entités  $E_N$  peuvent communiquer en utilisant le service  $S_{N-1}$  offert par la couche inférieure. Cet échange de données est régi par le protocole  $P_N$ ,  $S_{N-1}$  et assure le transfert des unités de données de services (messages soumis par  $E_N$ ) appelées N-1 SDU. Pour cela le service utilise un protocole  $P_{N-1}$  et des unités de données protocolaires, appelées N-1 PDU. Chaque PDU contient les informations de contrôle du protocole, appelé ICP sur la figure 3.14. et le N-1 SDU (qui forment le N PDU).

Ce schéma est toutefois simplifié dans la mesure où les relations N-1 SDU et N-1 PDU ne sont pas toujours bi-univoques. Diverses fonctions (fragmentation, cf. figure 3.15, transcodage, chiffrement...) peuvent modifier le N-1 SDU et produire plusieurs PDU à partir d'un même N-1 SDU. D'autres fonctions (groupage, concaténation, cf. paragraphe 2.3.3.2.) peuvent regrouper plusieurs N-1 SDU dans un même N-1 PDU. Dans ce cas, la fonction inverse en réception doit reconstruire le N-1 SDU émis.

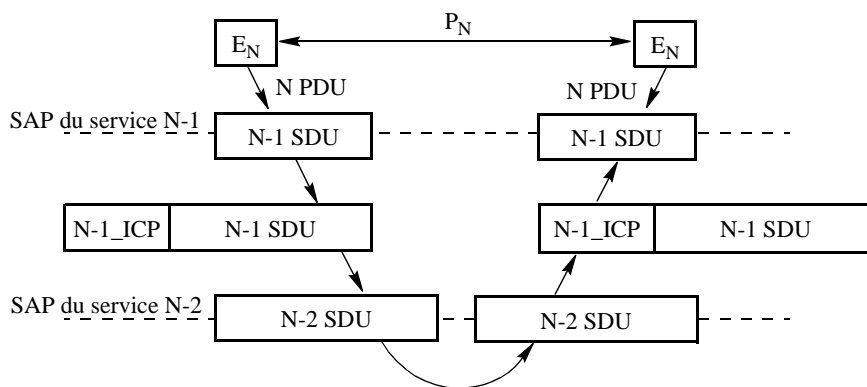


**Figure 3.13.** Des PDU de service peuvent être générées pour la gestion du protocole

Le prestataire de service peut signaler à une entité de la couche supérieure immédiatement adjacente une primitive par une indication. Lorsque celle-ci vient d'une entité homologue et si le protocole le requiert, une réponse peut être renvoyée par l'entité réceptrice. La primitive de confirmation permet au prestataire de service d'informer l'utilisateur de la terminaison, correcte ou pas, de la primitive de requête. Nous verrons dans les chapitres ultérieurs différentes utilisations de ces interactions de base.

La dénomination des primitives est effectuée quelle que soit la couche avec trois champs :

- une lettre pour la couche,



**Figure 3.14.** Unités de données

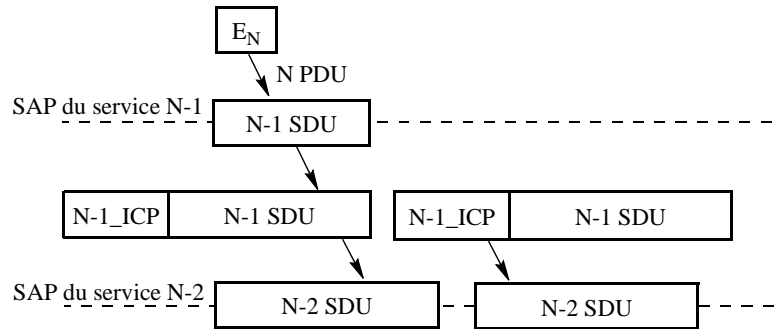


Figure 3.15. Fragmentation

- nom de la primitive (connexion, déconnexion, envoi...),
- type de la primitive (requête, indication, confirmation, réponse).

Une primitive peut éventuellement contenir des données à transmettre ou à délivrer, mais ce n'est pas toujours le cas. Une primitive qui doit être signalée à l'entité homologue contient une unité de données, SDU, pour le prestataire de service.

Ces conventions, adoptées par l'ISO pour la description des primitives de service, sont plus ou moins respectées par les interfaces de programmation. En particulier, l'ISO envisage essentiellement l'échange de blocs SDU, alors que de nombreux services utilisent la notion de flot, flux plus ou moins continus d'octets (fichiers UNIX, son, vidéo par exemple).

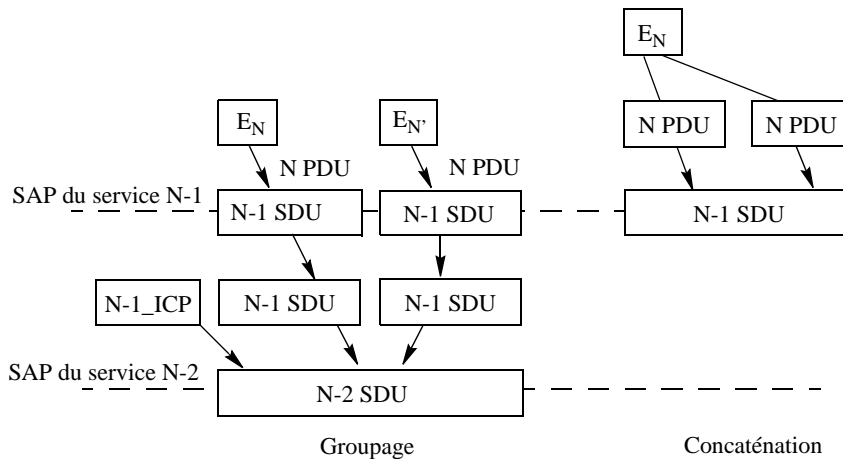


Figure 3.16. Groupage et concaténation

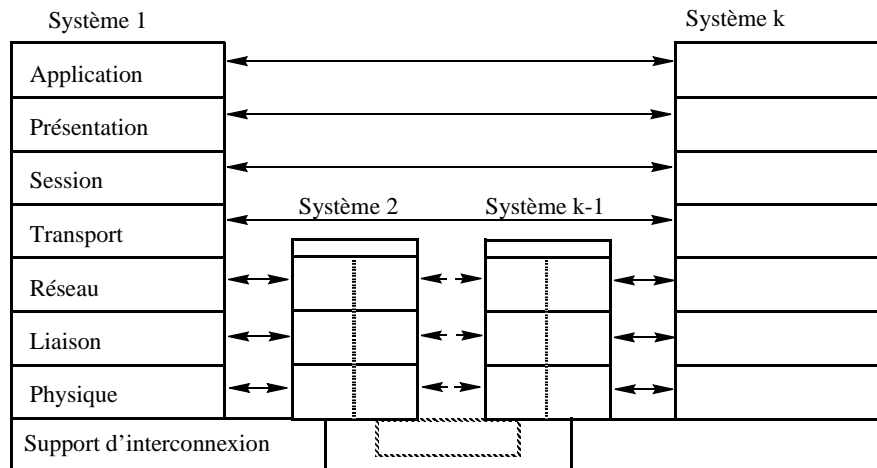


Figure 3.17. Assemblage d'entités

### 3.3. Les couches du modèle de référence ISO/OSI

Nous décrivons dans ce chapitre les définitions de la norme ISO/OSI qui nous seront utiles dans la suite pour décrire une architecture ou un fonctionnement, et éventuellement mettre en évidence des problèmes laissés ouverts par cette norme. La place des fonctions et services définis dans les couches du modèle de référence peut changer de couche dans les réseaux commercialisés. C'est en particulier le cas pour les réseaux locaux et les réseaux à haut débit (ATM, IPv6...). Dans le placement des fonctions proposées par le modèle de référence, certaines fonctions sont effectuées dans plusieurs couches. Le placement des fonctions n'est donc pas définitif mais représente une possibilité d'architecture en couche parmi d'autres.

Les fonctions sont réalisées par des entités protocolaires ad'hoc. Le modèle de référence ne décrit aucune entité protocolaire (ou protocole) en particulier. Cette tâche est réalisée dans le cadre des normes ISO/OSI. Le modèle de référence est un cadre d'accueil pour ces normes. Nous mettons entre guillemets dans les paragraphes suivants les définitions issues des normes ISO.

Les couches hautes du modèle, présentation et session, sont orientées application, ce qui signifie que les fonctions sont fournies sous le contrôle de l'utilisateur. Les couches basses, transport, réseau, liaison et physique, sont orientées communication. Les fonctions ont en général pour but d'améliorer la qualité du service de communication. Les fonctions des couches basses sont mises en œuvre automatiquement par les entités protocolaires sans que l'utilisateur ait à s'en préoccuper et donc pour l'essentiel à son insu.





**Figure 3.18.** Exemple des dangers d'un transfert sans prise en compte des structures de données

### 3.3.1. La couche application (7)

En tant que couche la plus élevée du modèle de référence d'interconnexion des systèmes ouverts, la couche application donne au processus d'application le moyen d'accéder à l'environnement OSI. Elle n'a donc pas d'interface avec une couche de niveau supérieur.

« En tant que seule couche du modèle de référence fournissant directement des services aux processus d'application, la couche application fournit nécessairement tous les services OSI directement utilisables par des processus d'application.

En plus du transfert d'informations, ces services peuvent comprendre :

- l'allocation de ressources,
- l'intégrité ou cohérence des données accédées,
- la synchronisation des applications coopérantes, etc. »

Cette définition soulève une difficulté majeure : ces services relèvent de ceux d'un système d'exploitation et sont donc utiles à tous les processus d'un système quelle que soit la couche dans laquelle ils résident. La couche application est un cadre d'accueil pour les développements de services réseau.

### 3.3.2. La couche présentation (6)

« La couche présentation se charge de la représentation des informations que des entités d'application se communiquent, ou auxquelles elles se réfèrent au cours de leur dialogue. »

Pour illustrer le problème, imaginons une communication entre un matériel basé sur le microprocesseur de la famille 68 000 et un matériel basé sur le microprocesseur de la famille 80 x 86. Les entiers sont représentés en machine sur les 68 000 en mettant les bits de poids fort à gauche et les bits de poids faible à droite. Dans le 80 x 86, l'octet le plus à gauche contient les poids faibles et celui de droite les poids forts. Un transfert de 1 000 F effectué de la machine 68 000 (votre compte) vers la machine 80 x 86 (un de vos créanciers) sans prendre en considération la manière dont sont représentées les données se traduira par une opération aberrante (cf. figure 3.18.).

La couche présentation a pour but de définir les structures de données de manière universelle, quels que soient les architectures de machine, les langages utilisés, etc.

### 3.3.3. La couche session (5)

« Le rôle de la couche session est de fournir aux entités de présentation coopérantes les moyens nécessaires pour organiser et synchroniser leur dialogue et pour gérer leur échange de données. A cet effet, la couche session fournit les services nécessaires à l'établissement d'une connexion de session entre deux entités de présentation et à la prise en charge des interactions ordonnées d'échange de données. »

Dans un environnement où la diffusion et la coopération entre plus de deux entités est nécessaire, la couche session offre des services de synchronisation élémentaires pour organiser le dialogue et la reprise sur erreur d'une transaction distribuée. Elle permet donc de :

- donner la parole à tour de rôle aux différents membres d'une connexion,
- définir des points de reprise dans un flot d'échange,
- garantir la fin cohérente d'une communication.

### 3.3.4. La couche transport (4)

« Le service de transport assure un transfert de données transparent entre entités de session en les déchargeant complètement des détails d'exécution d'un transfert de données fiable et d'un bon rapport qualité/prix. La couche transport optimise l'utilisation des services réseaux disponibles afin d'assurer au moindre coût les performances requises par chacune des entités de session. »

Quelles que soient les qualités de service des couches inférieures, qu'elles soient offertes par un service à circuit virtuel (par exemple de type Transpac) ou par un service à datagramme, c'est le service de transport qui assure la fiabilité des échanges. A ce titre, il assure partiellement ou en totalité :

- le contrôle de flux (surveillance que l'on ne sature pas le destinataire),
- la fragmentation et le réassemblage de messages en paquets,
- le contrôle d'erreur (perte, duplicata de paquets, modifications, altérations),
- le séquençement des messages (livraison dans le même ordre que la soumission).

Le service assure optionnellement le transport de blocs appelés lettres (plusieurs dizaines de kilo octets) et de télégrammes courts (quelques octets) destinés à transmettre des interruptions.

Une variété de contrôles peut, en option, être appliquée au transport des lettres : contrôle d'erreur, contrôle de flux, etc. Les contrôles mis en jeu sont définis à l'initialisation de la voie entre deux SAP (portes).

#### *Séquençement*

Garantit que les lettres arrivent dans le même ordre qu'elles ont été soumises. Les messages peuvent se perdre ou se doubler dans un réseau.

#### *Contrôle d'erreur*

Vérifie et corrige les erreurs de transmissions (modifications, pertes, doubles ...). Les lettres transportées sont numérotées en séquence et des accusés de réception indiquent la limite de réception correcte dans la séquence. En cas d'erreur ou d'incident, les lettres sont retransmises, ce qui peut créer des doubles si le paquet initial arrive.

#### *Contrôle de flux*

Surveille la saturation du destinataire. Le récepteur indique à l'émetteur la limite à ne pas dépasser dans la séquence. Ce numéro peut être expédié avec l'accusé de réception.

#### *Fragmentation-réassemblage*

Cette fonction adapte la taille de ses T PDU aux caractéristiques du service réseau disponible. Lorsque des T SDU ne peuvent tenir dans un paquet, les lettres sont découpées en fragments de taille fixe (sauf éventuellement le dernier), qui sont numérotés et expédiés chacun dans un paquet pour être réassemblés à l'arrivée.

### **3.3.5. La couche réseau (3)**

Toutes les fonctions de relais et tous les problèmes d'amélioration de services en cascade utilisés pour assurer le service de réseau entre les systèmes s'effectuent en dessous de la couche transport, c'est-à-dire dans la couche réseau ou dans les couches de niveau inférieur.

Le modèle de référence ISO/OSI attribue à la couche réseau la fonction de commutation, c'est-à-dire le routage (acheminement des messages), la recherche du chemin, le tri des unités de données qui lui sont soumises<sup>1</sup>. Elle les envoie sur les liaisons dont elle dispose vers la fonction réseau suivante, jusqu'à atteindre la destination désirée.

La couche adapte les N SDU reçues et le trafic aux caractéristiques des voies de sortie (taille, débit...).

L'ensemble des entités de la couche réseau assure l'acheminement de l'information de la source à la destination, de la machine émettrice à la machine réceptrice.

---

1. Le placement hiérarchique des différentes fonctions attribuées à la couche réseau est profondément modifié dans les réseaux locaux, les réseaux haut débit...

### 3.3.6. La couche liaison de données (2)

La couche liaison de données fournit les moyens fonctionnels et procéduraux nécessaires à l'établissement, au maintien et à la libération des connexions de liaisons de données entre entités de réseau, ainsi qu'au transfert des unités de données du service de liaison de données. Une connexion de liaison de données est réalisée à l'aide d'une ou plusieurs connexions physiques entre un même couple sans nœuds intermédiaires.

La couche liaison de données détecte, et corrige dans la mesure du possible, les erreurs pouvant se produire dans la couche physique. Toutefois, l'entité de liaison multiplexe les demandes de transmission de paquets sans en connaître le propriétaire. Elle ne peut donc en aucun cas se substituer aux entités des couches supérieures pour assurer la qualité globale du transport.

Le rôle de cette couche est d'assurer le transfert de l'information entre la machine et la voie physique (et inversement). Cette couche ne contrôle que la partie machine-voie physique.

### 3.3.7. La couche physique (1)

« La couche physique fournit les moyens mécaniques, électriques, fonctionnels et procéduraux nécessaires à l'activation, au maintien et à la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission de bits entre deux entités de liaison de données. Une connexion physique peut mettre en jeu plusieurs systèmes intermédiaires, relayant chacun la transmission des bits dans la couche physique. »

Les normes et standards de la couche physiques définissent les caractéristiques essentielles :

- du support : métallique (paire téléphonique, coaxial, résistance, taille...), optique (atténuation, taille...), hertzien (bande de fréquence...), micro-onde,
- de puissance et portée du signal, longueurs du câble,
- des prises (nombre de broches, position, utilisation...), nombre de fils utilisés...
- du codage utilisé pour transmettre des bits sur le câble (NRZ, Manchester, 5B/6B...),
- de taux d'erreur.

L'importance pratique des spécifications de la couche physique n'échappera pas au lecteur. Il est par exemple impossible de brancher une prise 25 broches sur une prise 15 broches.

L'équipement ou composant qui assure l'interface physique est aussi appelé coupleur ou adaptateur réseau. Ce composant peut éventuellement mettre en œuvre d'autres couches que la couche physique, on parle parfois de coupleur intelligent dans ce cas. Un coupleur ou adaptateur réseau est un processeur dédié à la réalisation des fonctions de la ou des couches qu'il implante. On doit le considérer comme un co-processeur de l'ordinateur dans lequel il est installé.

### 3.4. Effet de l'empilement des couches sur les unités de données

Chaque couche ajoute sa propre enveloppe protocolaire ou en-tête aux données utilisateurs. La figure 3.19. montre sur une donnée utilisateur initiale la succession des enveloppes qui sont ajoutées à cette donnée avant sa transmission sur le support physique puis retirées avant sa livraison effective. Le lecteur notera qu'une unité de protocole de la couche  $i$ , PDU, devient dans la couche inférieure une unité de service données, SDU de la couche  $i-1$ , dont le contenu est totalement transparent pour le fournisseur de service de cette couche. Chaque enveloppe est utilisée pour la gestion du protocole de la couche qui l'insère. On dit aussi que le SDU est encapsulé dans un PDU. L'encapsulation est l'action de ranger le SDU dans un PDU. Autrement dit, dans le format de trame du service qui doit transmettre le SDU.

Le schéma statique de la figure 3.19. ne saurait représenter complètement les conséquences sur les performances. En effet, les protocoles utilisés pour rendre un service peuvent nécessiter l'utilisation de plusieurs PDU afin de transmettre, conformément au service demandé, l'unité de données. Il pourra être nécessaire d'utiliser des acquittements. Ceux-ci sont formés par des PDU qui ne provoquent pas nécessairement un SDU. En outre, les services peuvent avoir besoin de PDU spécifiques non liés à la transmission d'un SDU. Cela peut être utile, par exemple, pour surveiller l'accessibilité des entités homologues (surveillance des pannes, interruptions temporaires, rupture des voies...). Par contre, le schéma de la figure 3.20. montre bien qu'à la donnée initiale sont adjointes des données pour gérer le protocole. Le rapport,  $T_{SDU} / T_{PDU}$ , entre la taille du SDU et la taille du PDU est appelé rendement du protocole.

#### 3.4.1. Notion de format

Le format d'un PDU décrit comment les données contenues dans le PDU sont structurées. Il n'y a pas de représentation universelle des formats de PDU. Les normes définissent pour chaque entité protocolaire les formats des PDU dont l'entité a besoin pour son enveloppe protocolaire (aussi appelé en-tête). On va donc trouver la définition de différents champs qui contiennent des valeurs nécessaires à la gestion du protocole. Par contre, le format de la partie SDU ne peut pas être précisé : on en connaît au mieux la longueur.

Pour un service à datagramme, les PDU utilisés par les entités précisent explicitement l'adresse (numéro) du SAP destinataire du PDU. Pour un service sur connexion, le PDU contient en général un identificateur de connexion (numéro de circuit virtuel, port source-port destination... qui sont associés lors de l'établissement de connexion à un SAP particulier).

La figure 3.20. montre le format partiel du PDU d'une entité  $E_o$ . Ce format indique que le premier octet donne le nom du SAP sur lequel le SDU porté par ce PDU doit être délivré, autrement dit, l'entité protocolaire suivante qui traitera le SDU. Pour cette entité, ce sera bien sur un PDU.

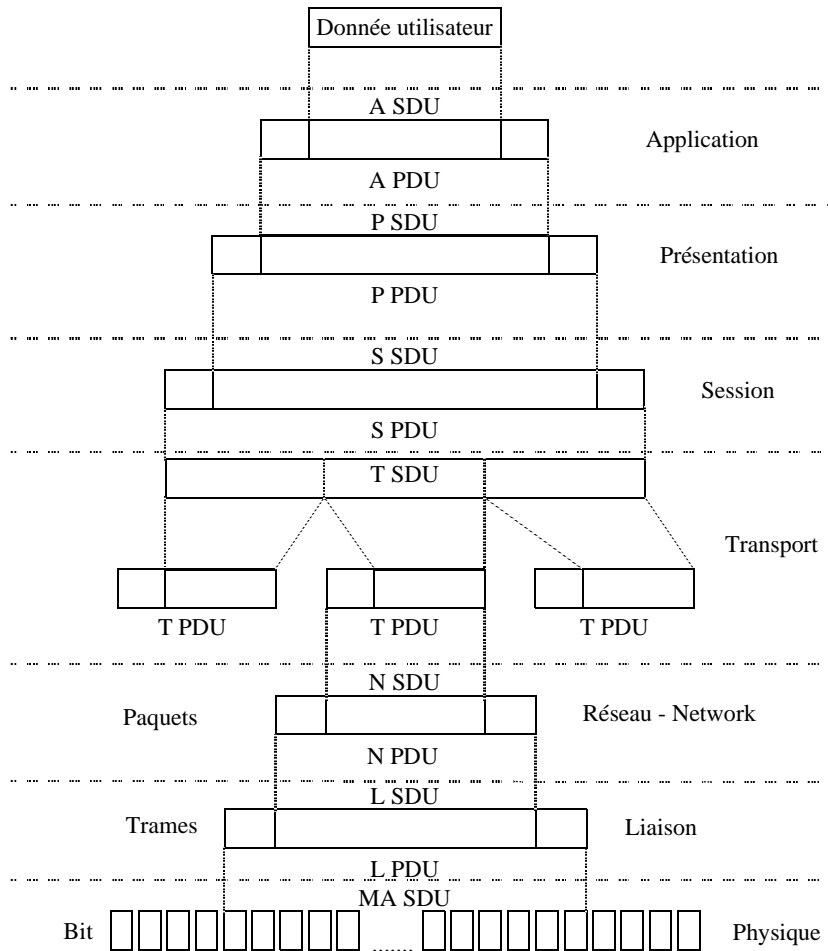


Figure 3.19. Enveloppes, PDU et SDU

Dans cet exemple, les entités  $E_1, E_2, E_3, E_4, \dots, E_n$  reçoivent leurs messages sur le SAP 1 pour  $E_1, i$  pour  $E_i$ , etc. Chaque entité produit un PDU dont la structure est partiellement décrite sur la figure 3.20. Le champ SAP suivant indique le numéro du protocole encapsulé. La longueur du PDU est de taille variable, mais alignée sur un multiple entier de 8 octets. Aussi, le champs longueur de l'en-tête (Lg en-tête sur la figure 3.20) contient un entier qui indique le nombre d'octets que contient l'en-tête.

Sur la figure 3.21, la valeur de cet octet est 8. Tous les protocoles n'ont pas forcément ce type de champ. Certains ont des en-têtes de taille fixe, aussi cette indication est-elle inutile. D'autres préfèrent indiquer la longueur totale du PDU : le

Numéros d'octets	1 <sup>er</sup> octet	2 <sup>e</sup> octet	3 <sup>e</sup> octet	4 <sup>e</sup> octet
×0 à 3	SAP suivant	Lg en-tête en octets	Paramètres du protocole	
4 à 7	Paramètres du protocole (suite)			
	SDU			
n				

**Figure 3.20.** Format de l'en-tête ou enveloppe protocolaire des entités  $E_i$

protocole connaissant la structure de l'en-tête saura quand commence la partie SDU. Il y donc une grande variété de formats.

L'entité  $E_{25}$  exécute le protocole LAP-B, que nous verrons au chapitre 5.

### 3.4.2. Analyse d'un PDU

Lorsqu'un PDU est reçu, il est rangé en mémoire. On peut donc le regarder de manière brute sous sa forme hexadécimale. Pour cela il suffit de faire un « dump » mémoire dans le cas des réseaux : on parle de trace. La trace en hexadécimal figure 3.21. a été obtenue pour un PDU destiné à l'entité  $E_0$ . Elle se lit de la manière suivante :

— la colonne de gauche (7 chiffres) indique le numéro du premier octet de la ligne. Chaque ligne contient 16 octets. Ainsi, la première ligne contient les octets de 0 à 15 ; la deuxième ligne 16 (10 en hexadécimal) à 31 ; la troisième ligne 32 (20 en hexadécimal) à 47, etc ;

— chaque octet en hexadécimal tient sur deux chiffres ou lettres. Les chiffres 0 à 9 pour les valeurs correspondantes et les lettres A pour 10, B pour 11, C pour 12, D pour 13, E pour 14, F pour 15 ;

Nous pouvons retrouver le schéma hiérarchique (selon le modèle couche) des entités que va traverser ce PDU en analysant cette trace ;

— l'octet 0 (premier octet) contient « 01 » ce qui est le champ « SAP » suivant de notre structure de trame (cf. figure 3.20). Ici il indique que l'entité suivante sera l'entité  $E_1$ . L'octet suivant contient « 08 » qui est la longueur de l'en-tête. Le SDU débute donc à l'octet 8 et se termine à la fin de la trace. Il y a donc 88 octets de données (0x58 en hexadécimal) dans ce SDU. Notre format sur la figure 3.20. ne décrit pas la suite de l'en-tête : il n'est donc pas possible d'interpréter les champs de l'enveloppe protocolaire de l'entité  $E_0$  ;

— l'octet 8 contient « 05 » en hexadécimal. L'entité suivante sera donc l'entité  $E_5$ . L'octet 9 contient la valeur 0 x 18 : il nous indique donc que l'enveloppe protocolaire ou en-tête de l'entité  $E_1$  contient 24 octets ;

Numéro d'octets	Valeurs des trames par ligne de 16 octets	
	8 premiers octets	8 derniers octets
0000000	0108 746c 6554 6578	0518 2014 e962 6974
0000010	2075 7469 6c65 2065	e20 666f 6e63 7469
0000020	0208 2064 6520 4420	0438 0003 0100 0000
0000030	0000 0000 0000 0000	0000 0000 0000 0004
0000040	0000 0000 0000 0000	0000 0000 0000 0002
0000050	0000 0000 0000 0000	0000 0000 0000 0006
0000060	1908 0a32 2033 2e36	0342 1008 0F00 0000

**Figure 3.21.** Exemple de PDU pour l'entité  $E_0$ , sur fond grisé l'en-tête protocolaire qui tient sur 8 octets, sur fond blanc le SDU

- l'octet 32 (0 x 20 en hexadécimal) indique que l'entité suivante sera l'entité  $E_2$  ;
- la figure 3.22. montre l'assemblage hiérarchique constitué par la suite des PDU que l'on trouve sur cette trace, ainsi que les SDU et PDU successifs. Nous vous laissons le soin de poursuivre l'analyse de cette trace. On parle aussi de déassemblage pour désigner ce travail.

### 3.5. Les différentes topologies

Une topologie décrit comment le réseau est construit. C'est-à-dire comment les voies<sup>1</sup> de communication relient les nœuds les uns aux autres. Les topologies sont basées sur les types des voies disponibles.

#### 3.5.1. Types de voies de transmission

*Point à point* : il y a un seul abonné aux deux extrémités de la voie. Cette technique est la plus fréquemment rencontrée.

*Multipoint ou diffusion* : il y a un nombre arbitrairement grand d'abonnés raccordés sur la voie, par exemple au niveau physique un bus fond de panier.

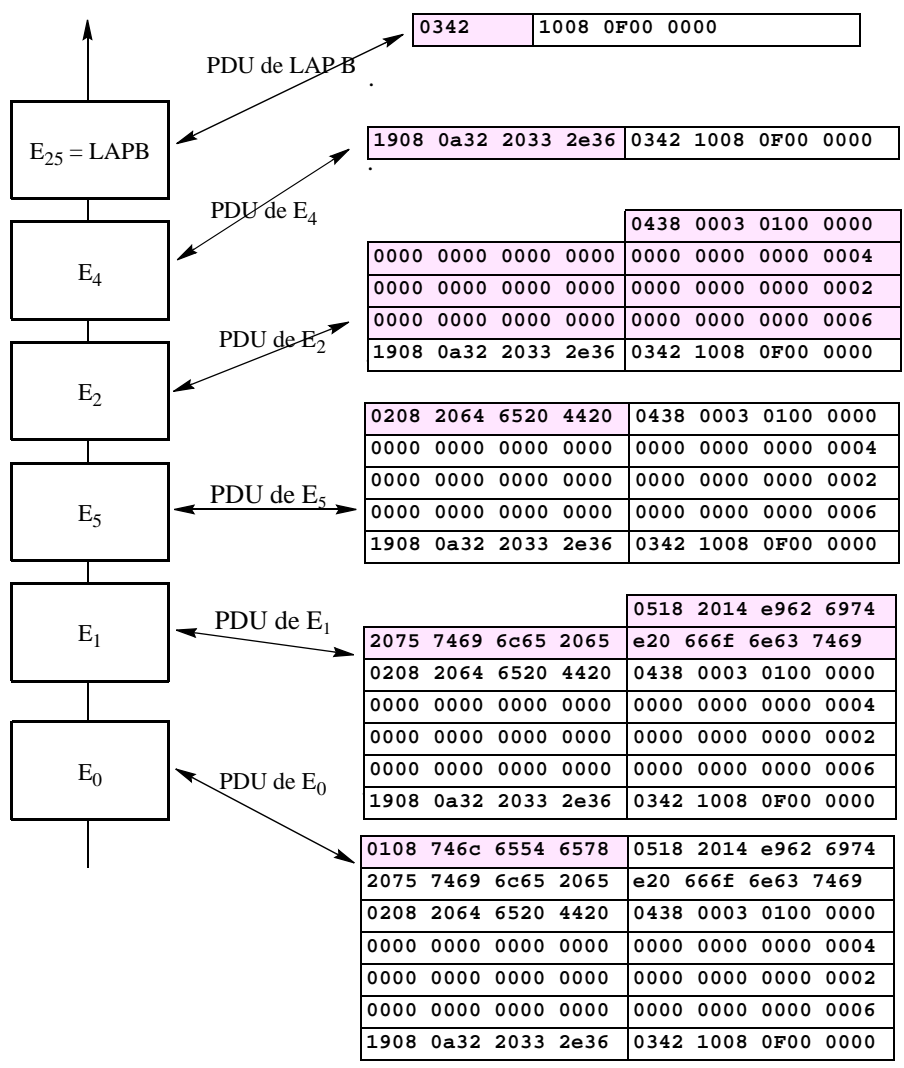
#### 3.5.2. Type d'interconnexion

*Régulière* : tous les abonnés et composants du réseaux sont raccordés de la même

---

1. La notion de voie doit être comprise dans son sens général. Elle peut donc être considérée à tout niveau du modèle en couche.

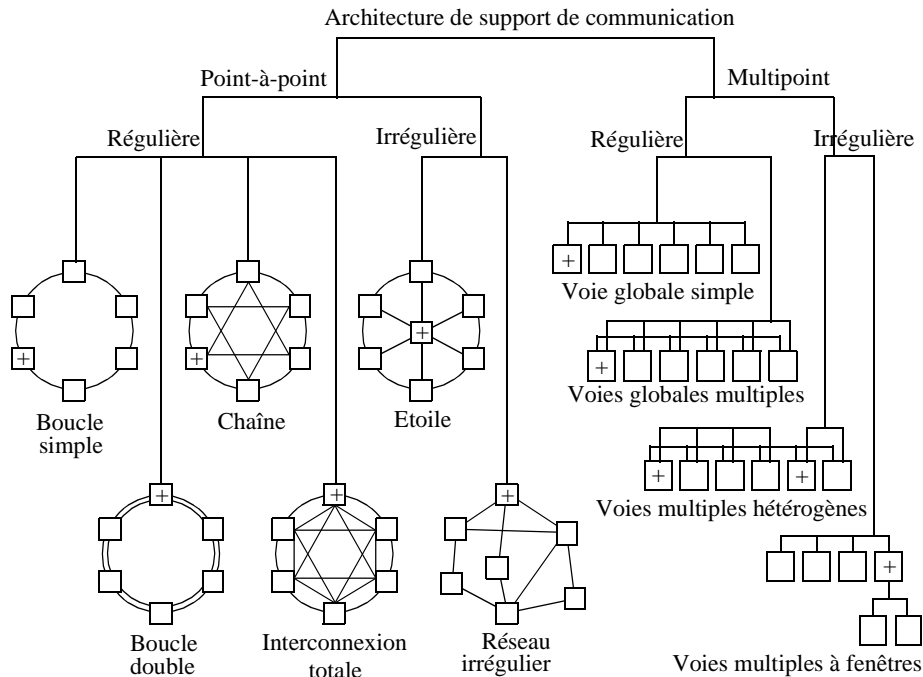




En fond grisé l'en-tête du PDU, en fond blanc la partie SDU.

**Figure 3.22.** Assemblage des entités montrées par la trace de la figure 3.21. ainsi que les différents PDU

*Irrégulière* : les réseaux maillés ont une architecture irrégulière. Les composants ou abonnés du réseau sont raccordés à leurs voisins de manière spécifique dans chaque cas (ex : réseau Transpac). Cette architecture est plus souple que l'architecture régulière, mais le routage plus difficile.



**Figure 3.23.** Architecture de câblage des réseaux

### 3.5.3. Différentes topologies

On appelle topologie la manière dont on a organisé les voies qui construisent le réseau de communication. La figure 3.23. montre différentes architectures couramment utilisées.

*Boucles simples* : chaque nœud prend le message en amont et le recopie en aval. Cela impose de le retirer, sinon il tournerait indéfiniment dans la boucle. Généralement c'est l'émetteur qui s'en charge. Un problème de fiabilité se pose en cas de panne d'un élément, ou en cas de panne de tout émetteur. Une station maître doit aussi gérer le réseau, ce qui pose le problème d'élection du maître. Les algorithmes sont assez compliqués.

*Boucles doubles* : en dupliquant la boucle, elles permettent de parer à la panne d'un élément. En fonctionnement normal, les boucles tournent dans un sens opposé. En cas de panne d'un élément, on revient à une boucle simple en associant ce qui reste des deux boucles. Mais, en cas de boucle simple, les messages passent deux fois devant chaque élément. Il en résulte des problèmes de gestion très importants.

*Chaînes* : il s'agit de boucles imbriquées. La gestion du réseau est très complexe vu les multiples sous-boucles qui existent.

*Interconnexion totale* : tout nœud a une connexion directe avec tout autre nœud. Cette solution est la plus fiable de toutes. Elle est très peu économique en câblage physique. Elle peut être réalisée à partir de voies logiques.

*Structure en étoile* : un nœud unique raccorde tous les abonnés et leur envoie les messages. Les algorithmes de gestion sont très simples, mais la panne du site principal paralyse tout le réseau.

*Réseau irrégulier ou maillé* : utilisé dans les réseaux publics de transmission de données de type Transpac. La fiabilité dépend du maillage et la gestion repose sur des algorithmes de routage lourds. Le temps de traversée est imprévisible (dépend du nombre de nœuds).

*Voie globale simple* : tous les nœuds sont connectés sur une même voie. Il n'y a pas de répéteurs. La structure est simple. La rupture de la voie casse le réseau, mais la panne d'un nœud n'a pas d'incidence (dépend quand même du protocole choisi).

*Voie globale multiple* : c'est une voie simple avec redondance. Cela permet d'améliorer la fiabilité du réseau. Il existe plusieurs moyens pour l'utiliser :

— au niveau physique : émission simultanée sur les deux supports. Le récepteur ne lit qu'un seul des câbles. Cette méthode introduit une perte de bande passante. Une meilleure technique consiste à n'émettre que sur l'un des deux câbles. En cas de panne seulement, on utilise uniquement le câble restant ;

— au niveau logique : mêmes choix faits par la couche réseau.

*Voies globales multiples hétérogènes ou à fenêtre* : voie globale simple organisée selon une architecture hiérarchique. Cela permet de hiérarchiser le trafic, de diminuer la charge globale du réseau.

### 3.6. La normalisation<sup>1</sup>

Téléphoner de Paris à Tokyo, envoyer un fax à New York sont des actes simples en apparence, mais qui supposent que les signaux émis soient compris par tous les réseaux empruntés. Outre l'interconnexion des réseaux, le processus normatif s'attache à la compatibilité des protocoles et des équipements.

Très tôt, le monde des télécommunications a été confronté à une exigence de compatibilité afin de communiquer par-delà les frontières. L'union télégraphique internationale a ainsi été créée en 1865 pour élaborer et adopter des normes applicables à la télégraphie internationale (elle deviendra l'UIT en 1932), précédant d'autres grandes organisations comme l'Union postale universelle (1874) et la Conférence internationale des chemins de fer (1882). Les électriciens ont attendu 1906 pour créer la Commission électrotechnique internationale (CEI), et l'Organisation internationale de normalisation (ISO), couvrant tous les autres secteurs techniques, n'apparut qu'en 1947. Dans le domaine des télécommunications, une normalisation précoce s'exerçait cependant dans un cadre restreint, uniquement dans

---

1. Article paru dans *Fréquence Information Technique* n° 22 – supplément au numéro n° 63 – janvier 1993.

les sections internationales des réseaux. Pour le reste, le repli industriel et commercial à l'intérieur des frontières était de règle, chaque administration ou exploitant développant des solutions nationales pour son réseau. Cette attitude engendrait à la fois l'hétérogénéité des produits, l'absence de concurrence et le comportement de monopole de certaines firmes sur chaque secteur du marché qui prétendaient imposer leurs standards de fait.

La situation a considérablement évolué au cours des vingt dernières années. Progressivement, la nécessité de la normalisation a fait son chemin – on parlait plutôt d'harmonisation – jusqu'à devenir, aujourd'hui, un facteur essentiel du développement des télécommunications. La numérisation des signaux révolutionnant les techniques de commutation et de transmission, le recours aux techniques de traitement de l'information et au progrès de l'intégration microélectronique confèrent aux réseaux nationaux, internationaux, publics ou privés, une telle complexité et une telle dynamique que les règles de coopération entre tous les acteurs concernés doivent être clairement définies si l'on veut éviter que le monde des télécommunications ne se transforme en tour de Babel : aujourd'hui, constructeurs de matériel, exploitants de réseau, fournisseurs de services à valeur ajoutée, utilisateurs, administrations, tous sont bien conscients de ces enjeux.

L'importance de la normalisation a encore été renforcée par la tendance mondiale à la déréglementation et à la disparition progressive des situations de monopole pour l'exploitation des réseaux publics. La normalisation contribue ainsi à déterminer les règles du jeu de la compétition économique et devient donc réellement une activité stratégique. En Europe, la normalisation volontaire sert de base à la réglementation communautaire, qui agit sous forme de directives. La Commission des Communautés européennes précise qu'« *une norme est une spécification technique approuvée par un organisme reconnu à activité normative et dont l'observation n'est pas obligatoire* ». En d'autres termes, une norme est un document public intéressant de nombreuses parties (tous les acteurs précédemment cités), ayant fait l'objet d'une discussion ouverte dans son élaboration, d'un consensus dans son approbation, et dont l'application est souhaitable mais pas obligatoire. Toutefois, dans certains cas, une directive peut rendre une norme obligatoire. D'une manière générale, une autorité de réglementation nationale ou européenne peut transformer une norme en règle technique définie par les « exigences essentielles » qui concernent notamment la sécurité des personnes et des matériels. En dehors de ce cas, si les normes ne sont pas obligatoires au sens juridique, elles sont en général appliquées volontairement par les acteurs concernés.

Reconnues par tous comme des instruments indispensables au développement de produits ou de services, les normes s'attachent à la fois à la définition des entités protocolaires, aux interfaces de systèmes de transmission, aux procédures d'établissement et de gestion des communications, aux protocoles de signalisation pour les services commutés internationaux automatiques, aux services (anciens ou nouveaux). Le propre de la normalisation est précisément qu'elle peut s'appliquer à tout. Par exemple, pour un service ancien, comme le télex ou le télégraphe, la normalisation portera sur l'interfonctionnement avec les nouveaux services. Pour les

services en cours de développement (large-bande, haut débit, radiotéléphone mondial de 3<sup>e</sup> génération), le champ de la normalisation sera évidemment plus large, portant sur la définition et la fourniture aux utilisateurs.

Le problème est que l'on assiste aujourd'hui à une prolifération des normes, parfois difficilement maîtrisable. Il s'agit donc, dans ce foisonnement, de repérer les bonnes normes, c'est-à-dire celles qui sont vraiment utiles et dont le contenu est bien adapté. Elles doivent être stables dans le temps, assorties parfois de plusieurs options. La norme X.25 de transmission de données par paquets (réseau Transpac) est une bonne illustration de ce dernier critère : née en 1976, elle en est actuellement à sa cinquième version. Il est clair, en effet, que l'intérêt et le succès d'une norme dépendent du nombre de services, d'activités ou de produits qui s'y conforment. Une norme doit être déterminée par les besoins d'un marché, et en même temps correspondre à une réelle maturité de la technique : elle ne doit intervenir ni trop tôt ni trop tard. Trop tôt, les produits n'auraient que peu d'applications ; trop tard, ils seraient obsolètes, et la norme risquerait d'être un frein à l'innovation.

### **3.6.1. Mécanisme normatif**

Au départ, le mécanisme général d'élaboration d'une norme est assez classique : un organisme à activité normative inscrit le sujet à son programme, puis un groupe de travail réunissant des experts d'horizons différents élabore une proposition. Celle-ci est soumise ensuite à l'approbation de l'organisme concerné qui consulte alors ses membres. S'il s'agit d'organismes internationaux, ils se tournent vers leurs membres nationaux qui procèdent à une enquête publique : c'est elle qui donne à la norme toute sa légitimité. L'enquête se fait généralement en deux temps : dans une première phase, on recueille les commentaires de toutes les parties intéressées qui serviront aux experts pour rédiger une deuxième proposition. En théorie, tout le monde a le droit de faire ses propres observations. En pratique, seuls les lecteurs du bulletin de l'AFNOR ainsi que les membres de l'organisme international concerné sont informés du déroulement de l'enquête et sont donc susceptibles de donner leur avis. La seconde phase est consacrée au vote d'adoption, qui est acquise à une majorité de 71% au moins des voix. Une norme n'est donc en aucun cas une spécification imposée par un petit nombre. Elle requiert toutefois de longues années d'élaboration avant de voir le jour.

### **3.6.2. Principaux organismes**

Les organismes de normalisation forment un ensemble complexe et dynamique. Loin de s'ignorer, ils sont fréquemment liés par des comités communs lorsque les domaines se recouvrent, ce qui est le cas pour les télécommunications, l'informatique et l'électricité. D'autre part, si les organismes de chacune de ces filières sont répartis en trois niveaux géographiques : mondial, régional (recouvrant plusieurs pays voisins, par exemple l'Europe) et national, ils sont amenés à travailler ensemble. D'abord parce que les mêmes experts siègent dans les différentes commissions, ensuite parce

Monde	(IUT) (Union Internationale des Télécommunications)	(CEI) (Commission Électro- technique Internationale)	(ISO) (International Standards Organisation)
Europe	(ETSI) (European Telecommu- nication Standard Insti- tute)	(CENELEC) (Comité Européen de Normalisation électro- nique)	(CEN) (Comité Européen de Normalisation)
France	(CF-ETSI) (Commission Française pour l'ETSI, dépend de l'AFNOR)	(UTE) (Union Technique de l'Électricité, bureau de normalisation de l'AFNOR) Télécommunications)	(AFNOR) (Association Française de Normalisation)
	Télécommunication	Électronique et électrotechnique (non télécommunication)	Reste

**Figure 3.24.** Les principaux organismes de normalisation

que les textes d'élaboration d'une norme sont discutés aux différents niveaux géographiques. Ainsi, une norme nationale peut être présentée pour adoption à un organisme régional (européen), puis éventuellement à un organisme mondial. A l'inverse, une norme mondiale peut être transposée, souvent avec des options, au niveau régional puis national.

### 3.6.3. Les organismes internationaux

Au niveau international, trois organismes se répartissent l'activité normative : l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) dans le secteur spécifique des télécommunications, l'Organisation internationale de normalisation (ISO) sur le plan général et la Commission électrotechnique internationale (CEI) dans le domaine de l'électrotechnique.

L'Union internationale des Télécommunications (UIT) est l'institution spécialisée de l'Organisation des Nations unies dans le domaine des télécommunications et regroupe cent soixante-six Etats. Elle est constituée de deux organes essentiels : l'IUT-T (ex. Comité consultatif international télégraphique et téléphonique, CCITT) et l'IUT-R (ex. Comité consultatif international des Radiocommunications, CCIR), tous deux implantés à Genève. Ces deux organismes établissent des recommandations qui n'ont pas tout à fait le statut de normes car elles ne font pas l'objet d'enquêtes publiques. Jusqu'en 1988, celles de l'ex-CCITT étaient approuvées tous les quatre ans par l'assemblée plénière et regroupées dans un livre dont la couleur changeait pour chaque période (rouge de 1981 à 1984, bleue de 1985 à 1988). L'IUT-T s'occupe de

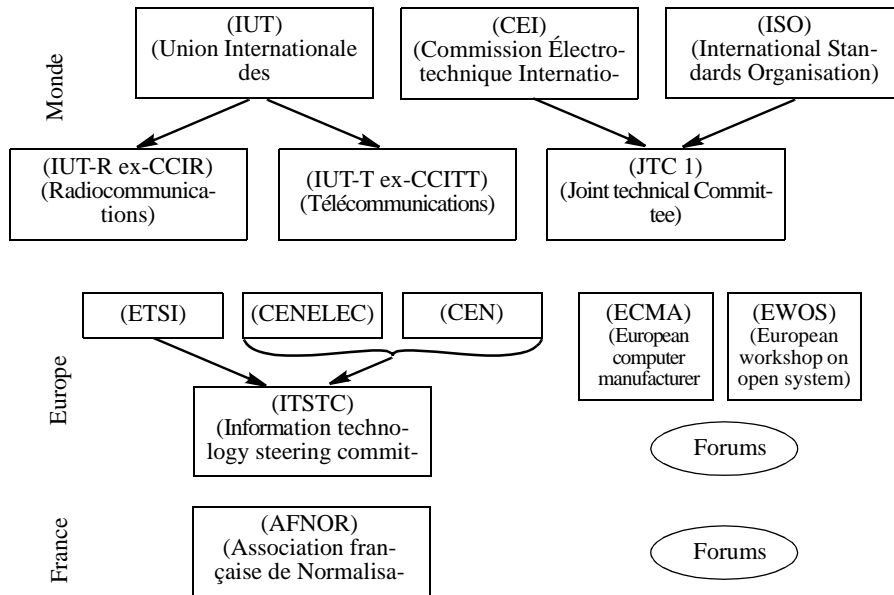


Figure 3.25. Les principaux organismes de normalisation répartis géographiquement

l'ensemble des produits et des services : transmission par câble, signaux téléphoniques, télégraphiques et télématiques, transmission de données et d'images. Quant à l'IUT-R, il traite de l'ensemble des questions touchant les radiocommunications. Une nouvelle organisation de l'UIT a été adoptée au mois de décembre 1992, lors d'une conférence extraordinaire de plénipotentiaires. Un « secteur de normalisation » regroupe l'activité normative de l'UIT à côté d'un « secteur de radiocommunications ». Un troisième secteur a en charge toutes les questions touchant aux télécommunications dans les pays en voie de développement.

Autre organisme mondial très important, mais de statut privé : l'Organisation internationale de normalisation. Son but est de promouvoir, de coordonner et d'unifier les normes dans tous les domaines techniques à l'exclusion de l'électricité et de l'électrotechnique, secteurs déjà traités par la Commission électrotechnique internationale (CEI) depuis 1906. L'ISO rassemble les intérêts des producteurs, des utilisateurs, des administrations gouvernementales et de la communauté scientifique. Ses membres sont les organismes nationaux de normalisation des différents pays : pour la France, il s'agit de l'Association française de Normalisation (AFNOR). L'ISO comprend une centaine de comités techniques comportant eux-mêmes des sous-comités et des groupes de travail. Chaque comité technique et sous-comité comprend deux catégories de membres : les membres participants, qui sont impliqués dans les travaux et disposent du droit de vote, et les membres observateurs, qui sont uniquement informés de l'avancement des travaux. La limite imprécise entre les télécommunications et l'informatique, dénommée « zone grise », est plus

spécialement traitée, au niveau mondial, par un comité technique commun à l'ISO et à la CEI : le Joint Technical Committee (JTC 1), en relation avec le CCITT. Le troisième organisme est la Commission électrotechnique internationale (CEI), qui couvre les secteurs de l'électricité et de l'électrotechnique. Elle a pour objet de faciliter la coordination et l'unification des normes dans ce domaine, qui peut inclure par exemple les propriétés électriques des matériaux, les caractéristiques physiques des matériels, les méthodes d'essai. En 1947, la CEI s'est affiliée à l'ISO, dont elle constitue la division électricité. Elle est constituée de quatre-vingts comités d'études.

### 3.6.3.1. Les organismes européens

Au niveau régional européen, la normalisation est coordonnée, gérée, et parfois rendue obligatoire par la Commission européenne. Les directives de la Commission font référence aux normes européennes adoptées par les trois principaux organismes : ETS (European Telecommunication Standards) de l'ETSI (European Telecommunication Standard Institute), EN (normes européennes) du Comité européen de Normalisation (CEN) et du Comité européen de Normalisation électrotechnique (CENELEC). Cette situation est toutefois très récente car la reconnaissance de l'ETSI comme organisme normatif, au même titre que le CEN et le CENELEC, n'est intervenue que le 15 juillet 1992, cinq ans après sa création. C'est en effet en 1987 que l'ETSI, dont la création avait été recommandée par la Commission dans son Livre vert, a été créé. L'instance communautaire souhaitait, en effet, pouvoir disposer de normes européennes acceptées par tous, opérateurs et industriels notamment. Or, jusqu'à cette date, l'activité normative européenne relevait de la Conférence européenne des Postes et Télécommunications (CEPT), cercle fermé des administrations des différents pays, excluant de fait les industriels. Sous la pression de la commission, la CEPT a donc abandonné au profit de l'ETSI son activité normative dans le domaine technique pour devenir un organisme européen de réglementation. Les industriels, les opérateurs, mais aussi les utilisateurs participent directement à l'élaboration des normes de l'ETSI. L'organisme compte plus de trois cents membres, dont quarante-neuf français, qui participent à ses différentes instances : l'assemblée générale, l'assemblée technique chargée d'élaborer et d'approuver les ETS, les comités techniques spécialisés par domaines. A l'heure actuelle, le programme de l'ETSI porte sur un millier de projets de normes qui font l'objet de fiches. L'Institut est géré par les soixante permanents du secrétariat de l'ETSI à Sophia-Antipolis, près de Nice. Parmi les projets les plus importants, on peut citer le RNIS, le radiotéléphone paneuropéen numérique GSM, l'*Open Network Provision* (ONP), la télévision à haute définition, le *Digital Audio Broadcasting* (DAB).

Parallèlement à cette activité d'élaboration d'ETS, comparable à celle de l'IUT-T et de l'IUT-R, au niveau mondial, l'ETSI s'efforce d'harmoniser les positions européennes en vue des travaux ultérieurs à l'UIT.

Certaines activités de l'ETSI concernant les télécommunications relevaient initialement du CEN-CENELEC. Ces deux derniers organismes européens regroupent dix-huit pays de la CEE et de l'Association européenne de Libre-Échange (AELE). Le CEN traite les mêmes domaines que l'ISO au niveau européen, et le CENELEC ceux



de la CEI. Depuis 1986, ils ont des procédures et des règles de fonctionnement communes, d'où l'appellation collective CEN-CENELEC. Pour les sujets de la « zone grise », comme la sécurité électrique, un comité, dénommé *Information Technology Steering Committee* (ITSTC), est chargé de répartir les tâches entre le CEN, le CENELEC et l'ETSI.

#### 3.6.3.2. *L'organisme français*

Au niveau national, la situation est plus simple puisqu'un seul organisme en France, créé en 1946, élabore les normes et les soumet. Il s'agit de l'AFNOR qui est responsable en France des enquêtes publiques. Elle a pour membres plus de cinq mille entreprises et agit en étroite relation avec le ministère de l'Industrie. Elle est le membre français de l'ISO et du CEN. C'est au sein de l'AFNOR que se trouve la Commission française pour l'ETSI, chargée d'assurer la concertation des membres français de l'ETSI. Au moment de la création de l'AFNOR, il existait déjà un certain nombre d'organisations à caractère professionnel. L'AFNOR en a reconnu certaines et leur impose, en contrepartie, une tutelle au niveau de leurs procédures. Ainsi, le Comité électrotechnique français (CEF) et l'Union technique de l'Electricité (UTE), regroupant des organismes publics et privés et des syndicats professionnels, agissent par délégation de l'AFNOR.

Dans chaque pays existe un organisme compétent en matière de normalisation : au Royaume-Uni, le *British Standard Institute* (BSI), aux Etats-Unis, l'*American National Standards Institute* (ANSI)...

#### 3.6.4. *Evolution de la normalisation*

La normalisation évolue nettement selon deux tendances. La première consiste à normaliser de plus en plus tôt. Auparavant, la normalisation s'apparentait plus à un constat, car elle intervenait sur des produits déjà élaborés, voire commercialisés. Actuellement, le transfert des résultats issus des activités de recherche et développement (R&D) communautaires peuvent contribuer directement aux activités de normalisation. C'est pourquoi on observe de plus en plus fréquemment une synergie entre les programmes de R&D financés par la Communauté : Esprit, Race, Eurêka, et la politique de normalisation.

De plus en plus tôt, mais aussi de plus en plus vite. La seconde tendance consiste à vouloir accélérer un processus dont certains acteurs dénoncent la pesanteur et la lenteur, comme si les enjeux économiques liés à l'adoption d'une norme étaient désormais trop importants pour supporter de longues années de gestation. Tout le processus repose, nous l'avons vu, sur des règles très strictes d'approbation et de consensus. Parvenir à ce consensus, c'est nécessairement mettre en présence des intérêts économiques, industriels, voire politiques, divergents. Ainsi, par toutes sortes de mécanismes, non seulement légaux mais acceptés par tous, car ils font partie du jeu, les acteurs en présence peuvent, dans certains cas, peser de tout leur poids pour ralentir encore la machine, afin d'empêcher de déclasser trop rapidement des produits avec l'adoption d'une nouvelle norme. Puis, la norme enfin élaborée, il faut attendre les

résultats de l'enquête publique. Accélérer le processus, le rendre plus efficace est désormais la volonté affichée de la plupart des organismes. A l'IUT-T (ex. CCITT), par exemple, il existe maintenant une procédure d'approbation accélérée. Jusqu'en 1988, les recommandations étaient approuvées tous les quatre ans. A l'heure actuelle, lorsqu'une majorité estime qu'une recommandation a atteint un degré de maturité suffisant, elle peut être approuvée en neuf mois par cette procédure.

La lenteur est aussi due à l'énormité des programmes de certains organismes comme l'ETSI, résultant le plus souvent d'ajouts de propositions, sans réelle perspective d'ensemble. Par souci d'efficacité, l'ETSI s'est doté d'une structure : le Program Advisory Committee (PAC). Il s'agit d'une sorte de comité des sages chargé de réfléchir à une stratégie d'ensemble dans les programmes et de définir des priorités.

Malgré ces efforts, les grands organismes ne trouvent pas grâce aux yeux de certains acteurs de la normalisation : ainsi des industriels trop pressés de faire valoir leurs idées. On assiste ainsi, depuis quelques temps, à la multiplication d'organismes parallèles, sans pouvoir normatif réel. Les forums se multiplient, constituant parfois de véritables machines de guerre. De leur côté, l'ECMA et l'EWOS, organisations fermées de l'industrie de l'informatique, produisent des documents qu'ils essaient de faire valider par les grands organismes, et notamment par le CEN-CENELEC pour la seconde.

### **3.7. Conclusion**

Le modèle de référence ISO/OSI constitue un cadre intellectuel incontournable. Les notions de couches, services, entités homologues présentées au début sont universelles. Par contre l'assemblage en 7 couches n'est pas toujours respecté par les constructeurs, pas plus que la place des fonctions décrites dans le modèle de référence.