



## Présentation

**Code interne :** ERI5-RESA2

## Description

Cet enseignement est consacré à l'architecture du DoD Internet dans sa version 4, aussi appelée famille de protocoles IPv4 ou encore TCP/IPv4 (Transmission Control Protocol / Internet Protocol version 4).

Après une introduction sur les aspects historiques qui ont conduit à la famille de protocoles TCP/IPv4 et sur son schéma d'adressage originel, cet enseignement se focalise sur les protocoles de la famille TCP/IPv4 jusqu'au niveau transport et sur le schéma d'adressage actuel. Des travaux pratiques concluent ce module afin d'illustrer les notions étudiées en cours. Ceux-ci apportent aussi des compétences pratiques et permettent le déploiement de réseaux simples utilisant cette famille de protocoles ainsi que la résolution d'erreurs courantes de construction et de configuration. L'interface de programmation (API) dite des sockets est aussi abordée grâce à un outil permettant de manipuler ceux-ci sans devoir écrire la moindre ligne de code ce qui permet de consolider la compréhension du fonctionnement des protocoles UDP et TCP.

## Objectifs

- Connaître et comprendre l'origine de la famille de protocoles TCP/IPv4 afin d'être conscient de ses avantages et de ses limitations par rapport à d'autres familles protocolaires et la nécessité de mettre en place des solutions palliant ces limitations.
- Comprendre la notion d'interconnexion de réseaux de communications de bas niveau par IPv4 afin connaître, de comprendre et de mettre en œuvre les trois principaux mécanismes d'adaptation entre ces réseaux de communication de bas niveau et IPv4 : mode connecté et mode non connecté et, surtout, le protocole ARP et le mécanisme de fragmentation et de réassemblage d'IPv4.
- Connaître et comprendre les éléments de protocole d'IPv4 ainsi que l'adressage et les mécanismes de routages d'IPv4 afin d'être capable de mettre en œuvre des réseaux simples, mais pouvant utiliser un plan d'adressage subtil, utilisant la famille protocolaire TCP/IPv4.
- Connaître et comprendre les principales options d'IPv4 et les principales fonctionnalités d'ICMPv4, non seulement pour les utiliser en tant que telles mais aussi pour aider à la recherche d'erreurs simples de construction et de configuration de réseaux utilisant la famille protocolaire TCP/IPv4.
- Comprendre le rôle des protocoles de transport dans une pile protocolaire et, en particulier, ceux d'UDP et de TCP dans l'architecture TCP/IP. Connaître et comprendre l'utilité de la notion d'extrémité de communication de niveau transport ainsi que, dans le cas d'UDP et de TCP, les paramètres concrets qui permettent de les identifier afin, entre autres, de cibler et d'examiner un flux d'informations particulier.

- Connaître et comprendre le protocole UDP afin de l'utiliser à bon escient et d'être capable de détecter certaines erreurs relativement simples lors de son utilisation par des applications. Pour cela, connaître et comprendre, à un degré assez fin :
  - les services rendus par UDP aux applications qui l'utilisent ;
  - le transfert d'informations en mode non connecté ;
  - le multiplexage et le démultiplexage de messages par port de destination.
- Connaître et comprendre le protocole TCP afin de l'utiliser à bon escient et d'être capable de détecter certaines erreurs relativement simples lors son utilisation par des applications. Pour cela, connaître et comprendre, à un degré assez fin :
  - les services rendus par TCP aux applications qui l'utilisent ;
  - le transfert d'informations en mode connecté ;
  - les notions de connexion et d'identification de connexion ;
  - le multiplexage et le démultiplexage de messages par connexion ;
  - les mécanismes d'ouverture et de fermeture de connexion ainsi que les mesures prises pour les fiabiliser ;
  - la transmission et la réception des données en régime continu ainsi que les mécanismes utilisés pour fiabiliser le transfert des informations ;
  - l'utilisation des fenêtres d'émission, de congestion et de réception afin de fiabiliser et de réguler les flux d'informations ;
  - le principe de la machine à états finis (FSM) simplifiée de TCP afin, entre autres, d'être capable de détecter des dysfonctionnement d'applications utilisant TCP.

## Heures d'enseignement

CI	Cours Intégrés	40h
TDM	Travaux Dirigés sur Machine	20h

## Pré-requis obligatoires

- Module ERI5-RESA1 « Introduction aux réseaux ».

## Syllabus

- Introduction à l'architecture TCP/IPv4
  - Fondements historiques
    - D'ARPANET et de NSFNET à la famille protocolaire TCP/IPv4 (DoD Internet)
  - Organisation de la standardisation de la famille protocolaire TCP/IPv4 et instances associées
  - Notion d'interconnexion de réseaux
  - Interconnexion de réseaux de communication de bas niveau hétérogènes par IPv4 en mode non connecté
  - Nécessité de l'adaptation entre IPv4 et les réseaux de communication de bas niveau hétérogènes empruntés
  - Pile protocolaire IPv4 et comparaison avec le modèle OSI (Open Systems Interconnection)
  - Principe général de l'acheminement des paquets de données par IPv4
  - Schéma d'adressage IPv4 originel
  - Principe simplifié du routage des paquets IPv4
  - Ouverture vers les évolutions du schéma d'adressage et du routage d'IPv4 vers leurs formes actuelles
- Couche liaison de l'architecture TCP/IPv4 : interaction avec les réseaux de communication de bas niveau

- Nécessité de l'adaptation d'IPv4 à la transmission de ses paquets sur des réseaux de communication de bas niveau aux caractéristiques variées :
  - mode de transfert, connecté ou non connecté, des réseaux de communication de bas niveau
  - taille maximale des paquets pouvant être transmis par les réseaux de communication de bas niveau (charge utile maximale)
  - résolution (conversion) des adresses IPv4 en adresses utilisées par les réseaux de communication de bas niveau empruntés
- Principes de la résolution d'adresse
  - Contexte
  - But
  - Principales méthodes envisageables : avantages et inconvénients
- Rappels sur le réseau de communication Ethernet / IEEE 802.3
- Méthode et protocole de résolution d'adresse ARP (Address Resolution Protocol)
  - Principe de fonctionnement d'ARP
  - Éléments de protocole
  - Structure d'un paquet ARP
  - Application au cas particulier d'Ethernet / IEEE 802.3
- Cas de la résolution des adresses IPv4 multicast (adresses de groupe)  
Exemple d'une solution adaptée à Ethernet / IEEE 802.3
- Protocole RARP (Reverse Address Resolution Protocol)
- Couche Internet de l'architecture TCP/IPv4 : IPv4 et ICMPv4
  - Buts et principes essentiels du protocole IPv4
  - Panorama informel des fonctionnalités d'IPv4
  - Structure d'un paquet (datagramme) IPv4
  - Éléments de protocoles d'IPv4
    - Gestion de la qualité de service : fonctionnement originel « TOS » (Type Of Service) et « DS » (Differentiated Services) rétro-hérité d'IPv6
    - Contrôle de congestion : fonctionnement originel et « ECN » (Explicit Congestion Notification) rétro-hérité d'IPv6
    - Limitation de la durée de vie des datagrammes
    - Fragmentation et réassemblage des datagrammes : adaptation de la taille des datagrammes à la charge utile maximale des réseaux de communication de bas niveau empruntés
    - Construction progressive du routage (acheminement) actuel des datagrammes : sous-adressage, masque de réseau, masque de réseau de longueur variable, sur-adressage, agrégations d'adresses et de réseaux, notation CIDR, notion de préfixe de réseau et utilisation, notion de route par défaut et utilisation, synthèse sur le routage général actuel d'IPv4 et éventuels problèmes de rétro-compatibilité avec des protocoles et des équipements plus anciens
  - Options d'IPv4  
Principales options actuelles d'IPv4, éléments de protocole et rôles
  - Protocole ICMPv4  
Principaux messages ICMPv4 actuels, éléments de protocole et rôles
- Introduction à la couche transport de l'architecture TCP/IP
  - Rôles généraux de la couche transport
    - Transfert des données de bout en bout et caractéristiques.
    - Multiplexage et démultiplexage des communications.
  - Notion de TSAP (Transport Service Access Point) du modèle OSI
  - Notion de port de communication de niveau transport dans le cas des protocoles UDP (User Datagram Protocol) et TCP (Transfer Control Protocol)
    - Subdivision standardisée des numéros de ports
    - Allocations statique et dynamique des numéros de ports suivant leur rôle

- Identification non ambiguë d'une extrémité de communication de niveau transport
- Relation en la notion de TSAP du modèle OSI et de la notion de port de l'architecture TCP/IP
- Protocole de transport UDP - User Datagram Protocol
  - Généralités
    - Type de service rendu par UDP
    - Multiplexage et démultiplexage des messages UDP par numéro de port de destination et implications pour les applications utilisant l'API des sockets
  - Éléments de protocole
    - Modalités d'utilisation des numéros de ports source et destination
    - Protection optionnelle des messages UDP par total de contrôle et nécessité de l'utilisation d'une pseudo-entête
  - Structure d'un message UDP
    - Justification et retour sur certains éléments de protocole
  - Exemples de protocoles applicatifs utilisant UDP
- Protocole de transport TCP - Transmission Control Protocol
  - Généralités
    - Type de service rendu par TCP
    - Multiplexage et démultiplexage des messages (segments) TCP par connexion et implications pour les applications utilisant l'API des sockets
  - Éléments de protocole
    - Identification non ambiguë d'une connexion TCP
    - Caractéristiques de base des segments TCP (taille, protection individuelle, limitation de la durée de vie et optimisation de l'utilisation des ressources du réseau)
    - Fiabilisation du transport du flux de données d'une connexion TCP
    - Transfert non optimisé du flux de données d'une connexion TCP en régime continu
    - Fenêtre d'émission et d'anticipation glissante
    - Transfert optimisé du flux de données d'une connexion TCP en régime continu
    - Contrôle de flux par la prise en compte de la fenêtre de réception du récepteur du flux de données
    - Contrôle de congestion du réseau par ajustement de la fenêtre d'émission ou par l'utilisation du mécanisme ECN d'IP
    - Forçage de l'émission des données transportées par TCP en outrepassant ponctuellement certains mécanismes d'optimisation
    - Transmission de données urgentes (dites « hors bande »)
    - Ouverture d'une connexion TCP et fiabilisation
    - Fermeture d'une connexion TCP et fiabilisation
    - Réinitialisation d'une connexion TCP
  - Machine à états finis (FSM) simplifiée de TCP
    - Initiation à la description semi-formelle d'un protocole réseau
    - Mise en relation avec des outils disponibles sous la plupart des systèmes d'exploitation
    - Application l'aide au diagnostic de problèmes lors du dialogue de deux applications via TCP
  - Structure d'un segment TCP
    - Justification et retour sur certains éléments de protocole
  - Principales options de TCP
  - Utilisation d'IPv4 pour l'acheminement des segments TCP
  - Exemples de protocoles applicatifs utilisant TCP

---

## Bibliographie

- Documentation officielle du DoD Internet : <https://www.rfc-editor.org>
- D. E. Comer, "Internetworking With TCP/IP Volume 1: Principles, Protocols, and Architecture - 6th edition", Pearson, 2014.
- Polycopié de cours non exhaustif (prise de notes obligatoire) et textes de travaux pratiques.

## Modalités de contrôle des connaissances

### Évaluation initiale / Session principale

Type d'évaluation	Nature de l'évaluation	Durée (en minutes)	Nombre d'épreuves	Coefficient de l'évaluation	Note éliminatoire de l'évaluation	Remarques
Contrôle Terminal	Ecrit	120		1		Détails sur les modalités de contrôle : documents interdits, calculatrice en mode examen autorisée, tout autre moyen informatique et tout moyen de communication interdits.

## Seconde chance / Session de rattrapage

Type d'évaluation	Nature de l'évaluation	Durée (en minutes)	Nombre d'épreuves	Coefficient de l'évaluation	Note éliminatoire de l'évaluation	Remarques
Epreuve terminale	Ecrit	120		1		Détails sur les modalités de contrôle : documents interdits, calculatrice en mode examen autorisée, tout autre moyen informatique et tout moyen de communication interdits.

## Infos pratiques

### Contacts

#### Responsable module

Xavier Delord

✉ [Xavier.Delord@bordeaux-inp.fr](mailto:Xavier.Delord@bordeaux-inp.fr)