

COURS PASTEUR - CENTRE D'ENSEIGNEMENT

Programme cours 2025-2026

Structure et fonction des protéines

Institut Pasteur, Paris, du 5 janvier au 6 février 2026
Célia Caillet-Saguy, Thierry Rose & Nicolas Wolff

WWW.PASTEUR.FR/FR/ENSEIGNEMENT



COURS DE STRUCTURE ET FONCTION DES PROTEINES

LIEU : Centre d'Enseignement de l'Institut Pasteur

28 rue du Docteur Roux
75724 PARIS CEDEX 15

Cours : Salle n° 5 + Salle 4 (le 19/01/2026 & du 28 au 30/01/2026) – Bâtiment 6 (Social)

Travaux Pratiques : Salle TP du 2^{ème} étage – Bâtiment 9 (Pavillon Louis Martin)

Mercredi 17 décembre 2024 12h15 à 13h 

DIRECTRICE, DIRECTEURS DU COURS

Nicolas WOLFF

Unité Signalisation et dynamique des Récepteurs
Institut Pasteur
TEL 01 45 68 88 72
E-MAIL : nicolas.wolff@pasteur.fr

Thierry ROSE

Innovation & Développement de Tests Diagnostiques
Institut Pasteur
TEL 01 45 68 85 99
E-MAIL : rose@pasteur.fr

Célia CAILLET-SAGUY

Unité Immunologie Humorale
Institut Pasteur
TEL 01 44 38 91 81
E-MAIL : celia.caillet-saguy@pasteur.fr

TECHNICIENNE PEDAGOGIQUE

Camille CARPENTIER

Centre d'Enseignement
Institut Pasteur
TEL 01 40 66 96 35
E-MAIL : camille.carpentier@pasteur.fr

« DU GENE A LA STRUCTURE-FONCTION DES PROTEINES »

La biochimie des protéines est une discipline sans cesse dynamisée par l'émergence de nouvelles technologies à la convergence de la chimie, la biophysique, la biologie moléculaire et la biologie cellulaire. Elle regroupe les méthodes d'étude des relations entre la structure et la ou les fonctions des protéines isolées *in vitro* ou dans leurs contextes biologiques ou intermédiaires. Elle contribue à la compréhension des mécanismes moléculaires du vivant comme la reconnaissance et l'assemblage moléculaire, la catalyse enzymatique et le transport. Ces événements sont à la base entre autres des voies de signalisation, de synthèse et de dégradation qui organisent le fonctionnement et le destin de la cellule en réponse au contexte. La fonction des protéines découle de la structure tridimensionnelle de leur état natif. Etudier la structure des protéines permet de comprendre dans le détail le mécanisme qui lie la structure à la fonction et d'interpréter les causes des éventuelles altérations de la fonction associées à des mutations des gènes d'expression ou des modifications du contexte biologique et ou des conditions d'observation. Pour nous y aider, des approches par intelligence artificielle et apprentissage profond ont permis de développer de nouveaux outils analytiques et prédictifs puissants et accessibles.

Ce cours a vocation à former les élèves aux stratégies de production et d'études quantitatives structurales et fonctionnelles des protéines afin de qualifier les relations entre leur structure (composition, topologie, architecture, conformation, stabilité) et leur fonction (localisation, recrutement, activité). Le but pédagogique est de préparer les élèves à leur autonomie dans la préparation et l'évaluation de la qualité des échantillons de protéines dans leurs laboratoires pour un dialogue et une collaboration avec des experts de la caractérisation fine, structurale ou fonctionnelle.

L'équipe d'enseignants-chercheurs encadrant ce cours a choisi d'illustrer différentes méthodes et techniques classiques ou émergentes de biochimie, de biophysique et de bioinformatique à l'état de l'art, sous la forme de cours théoriques et de travaux pratiques en prenant pour objet d'étude des protéines humaines de la signalisation neuronale. La kinase MAST2 et la phosphatase PTPN4 sont impliquées respectivement dans la régulation de la survie et de la mort des neurones, essentielle dans l'organisation, le maintien et le fonctionnement des tissus nerveux. Ces grosses protéines contiennent chacune un domaine homologue, canonique d'interaction protéine-protéine essentiel à leur activité. Les élèves produiront le domaine homologue issu de ces deux protéines et étudieront leurs caractères structuraux et fonctionnels tout au long du cours, au travers des différents modules d'enseignement.

Ce cours est articulé en 3 modules :

M1 : Méthodes de production et de purification des protéines

- PCR, clonage, expression en système procaryote et eucaryote, purification de protéines recombinantes, chromatographies d'affinité et d'exclusion
- Contrôle qualité des échantillons, diffusion dynamique de la lumière, spectrométrie de masse, MALDI-TOF-MS, spectroscopie ultraviolet-visible, dichroïsme circulaire

M2 : Méthodes biophysiques de caractérisation structurale et fonctionnelle

- Ultracentrifugation analytique, viscosimétrie, diffusion multi-angles de la lumière, dichroïsme circulaire, spectrométrie de masse (HDX), spectrométrie de fluorescence, thermophorèse, microcalorimétrie isotherme, diffusion/diffraction des rayons X, résonance magnétique nucléaire, microscopie électronique.

M3 : Relation structure-fonction

- Cinétique enzymatique, interactions dynamiques par résonance plasmonique de surface et interférométrie à biocouche, activité dans la cellule par imagerie par imagerie, dosage sur puces microfluidiques.
- Recherche et alignement de séquences, visualisation et comparaison de structures, construction de modèles moléculaires simples et complexes par intelligence artificielle, analyse des relations entre mutations et altérations de fonction, recherche et identification de cibles potentielles par criblage virtuel

Les cours théoriques assureront à tous les participants la maîtrise des bases nécessaires à la compréhension de ces méthodes, et les travaux pratiques en donneront les clés opérationnelles. Trois épreuves écrites d'examen (M1, M2, M3) évalueront à chaque fin de module les connaissances et la compréhension des enseignements proposés.

Cours Pasteur de Structure et Fonction des Protéines 2026
Semaine n°1 - du lundi 05.01 au vendredi 09.01.2026

LUNDI 5 JANVIER 2026

9:00 - 10:00	Accueil des étudiants	S. Malot, M. Perez, V. Ponticelli (Centre d'Enseignement, Institut Pasteur - Paris)
10:00 - 11:00	Présentation générale du cours et du système biologique support des TD et TP	N. Wolff (Institut Pasteur - Paris)
11:00 - 13:00	Cours : Structure et repliement des protéines	L. Sauguet (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 16:00	Cours : Biosynthèse des protéines	E. Schmitt (Ecole Polytechnique - Palaiseau)
16:00 - 18:00	TD : Recherche dans les bases de données	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)

MARDI 6 JANVIER 2026

9:00 - 11:00	Cours : Expression en système eucaryote	C. Montigny (I2BC - Gif sur Yvette)
11:00 -11:15	Présentation de la Salle TP & des conditions de manipulations	C. Carpentier (Institut Pasteur - Paris)
11:00 -13:00	TP : PCR	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 16:00	TP : Analyse sur gel d'agarose	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
16:00 - 17:00	TP : Traitement avec Dpn1	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
17:00 - 18:00	TP : Purification des fragments d'ADN	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)

MERCREDI 7 JANVIER 2026

9:00 - 11:00	TD : Introduction à PyMOL	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
11:00 -13:00	TP : Combinaison	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
14:00 -16:00	TP : Transformation dans TOP10	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
16:00 - 18:00	Cours : Purification des protéines	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)

Cours Pasteur de Structure et Fonction des Protéines 2026

JEUDI 8 JANVIER 2026

9:00 - 10:00	TP : Analyse des transformations	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
10:00 - 11:00	TP : 2 ^{ème} transformation dans TOP10	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
11:00 - 13:00	Cours : Clonage et expression en système procaryote	B. Miroux (IBPC - Paris)
14:00 - 16:00	Cours : Prédiction des structures tertiaires et quaternaires, AlphaFold	E. Laine (Sorbonne Université - Paris)
16:00 - 18:00	TD : Prédiction des structures tertiaires	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)

VENDREDI 9 JANVIER 2026

9:00 - 10:00	TP : Analyse des transformations	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
10:00 - 11:00	TP : Criblage par PCR sur colonies	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
11:00 - 12:00	Cours : Production acellulaire de protéines	A. Hessel (Institut Pasteur - Paris)
12:00 - 13:00	TP : Analyse sur gel d'agarose	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
13:45 - 14:00	PHOTO	
14:00 - 15:00	Cours : Nombre, Dimensions et Unités	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
15:00 - 16:00	TD : Software d'analyse et de représentations de données	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
16:00 - 18:00	TD : Relations structure-fonction / PyMOL	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)

Cours Pasteur de Structure et Fonction des Protéines 2026
Semaine n°2 - du lundi 12.01 au vendredi 16.01.2026

LUNDI 12 JANVIER 2026

9:00 - 10:00	TP : Purification ADN plasmidique	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
10:00 - 11:00	TP : Criblage par restriction	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
11:00 - 13:00	TP : Analyse des restrictions sur gel	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 16:00	Cours : Microcalorimétrie	E. Ennifar (Ecole Polytechnique - Palaiseau)
16:00 - 17:00	TP : Transformation dans BL21 (DE3)	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
17:00 - 18:00	TP : Inoculation des milieux sélectifs	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)

MARDI 13 JANVIER 2026

9:00 - 10:00	TP : Production	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
10:00 - 12:00	Cours : Modifications post-traductionnelles des protéines	F.-X. Theillet (I2BC - Paris-Saclay)
12:00 - 13:00	TP : Induction des cultures	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 15:00	Cours : Purification des protéines (3) Chromatographie d'exclusion	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
15:00 - 16:00	Cours : Hydrodynamique	B. Raynal (Institut Pasteur - Paris)
16:00 - 17:00	TP : Collecte et congélation des bactéries	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
17:00 - 18:00	TD : Software d'analyse et de représentations de données	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)

Cours Pasteur de Structure et Fonction des Protéines 2026

MERCREDI 14 JANVIER 2026

9:00 - 10:00	TP : Lyse des bactéries	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
10:00 - 11:00	TP : Clarification	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
11:00 - 13:00	TP : Chromatographie d'affinité	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 16:00	TP : Chromatographie d'affinité	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
16:00 - 18:00	TP : Analyse sur gel	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)

JEUDI 15 JANVIER 2026

9:00 - 10:00	TD : Plate-Forme Production et Purification de Protéines Recombinantes	S. Petres (Institut Pasteur - Paris)
10:00 - 12:00	TD : Chromatographie sur Système AKTA	J.-P. Boursier (Cytiva - Orsay)
12:00 - 13:00	TD : Analyse de la purification	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 15:00	Cours : Contrôle qualité	S. Rosario (Institut Pasteur - Paris)
15:30 - 18:00	TP : Contrôle qualité	S. Brûlé M. Chevreuil B. Raynal S. Rosario (Institut Pasteur - Paris)

VENDREDI 16 JANVIER 2026

10:00 - 13:00	M1 : Examen (Biosynthèse et purification)	C. Caillet-Saguy T. Rose, N. Wolff (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 15:00	Cours :CD	S. Brûlé (Institut Pasteur - Paris)
15:00 - 16:00	Cours : Hydrodynamique	B. Raynal (Institut Pasteur - Paris)
16:00 - 18:00	TP : Hydrodynamique	B. Raynal (Institut Pasteur - Paris)

Cours Pasteur de Structure et Fonction des Protéines 2026
Semaine n°3 - du lundi 19.01 au vendredi 23.01.2026

LUNDI 19 JANVIER 2026

9:00 - 11:00	Présentation du module M2	N. Wolff (Institut Pasteur - Paris)
11:00 -13:00	Cours : Modifications chimiques des protéines	M. Hollenstein (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 14:30	Test des VM sur les ordinateurs	C. Caillet-Saguy (Institut Pasteur - Paris)
14:30 - 15:30	Cours : SAXS	A. Thureau (Synchrotron Soleil - Paris-Saclay)
15:30 - 18:30	TP : SAXS	A. Thureau (Synchrotron Soleil - Paris-Saclay)

MARDI 20 JANVIER 2026

9:00 - 11:00	Cours : Cristallogenèse et structures cristallines	A. Haouz (Institut Pasteur - Paris)
11:00 -13:00	Cours : Microscopie électronique	F. Gubellini (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 16:00	TD : Hydrodynamique	B. Raynal (Institut Pasteur - Paris)
16:00 - 17:00	TD : Multiple data intégration Modélisation	B. Raynal (Institut Pasteur - Paris)
17:00 - 18:00	TD : Bilan	B. Raynal (Institut Pasteur - Paris)

MERCREDI 21 JANVIER 2026

9:00 - 11:00	Cours M2 / M3 : Spectrométrie de masse	C. Carapito (Institut Pasteur - Paris)
11:00 -13:00	Cours : Protéomique	M. Matondo (Institut Pasteur - Paris)
14:00 -18:00	TD / TP : HDX	S. Brier (Institut Pasteur - Paris)

Cours Pasteur de Structure et Fonction des Protéines 2026

JEUDI 22 JANVIER 2026

9:00 - 10:00	Cours : Enzymologie	A. Chaffotte (Institut Pasteur - Paris)
10:00 - 12:00	Cours : Spectroscopie UV / Fluo	Y. Gaudin (I2BC - Gif sur Yvette)
12:00 - 13:00	Cours : Thermophorèse et nano DSF	M. Chevreuil (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 18:00	TP : Enzymologie, cinétique de PTPN4	C. Caillet-Saguy, C. Carpentier (Institut Pasteur - Paris)

VENDREDI 23 JANVIER 2026

09:00 - 13:00	Cours : RMN	N. Wolff (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 16:00	Cours : Dynamique des interactions Protéine-protéine	P. England (Institut Pasteur - Paris)
16:00 - 18:00	Présentation des techniques d'analyse structurale TP : Biophysique	N. Wolff (Institut Pasteur - Paris)

Cours Pasteur de Structure et Fonction des Protéines 2026
Semaine n°4 - du lundi 26.01 au vendredi 30.01.2026

LUNDI 26 JANVIER 2026

09:00 - 13:00	TD :	Cristallographie, résolution de structure	S. Petrella (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 18:00	TD :	Cryo-électro microscopie, Résolution de structure	A. Bezault F. Bontems (Institut Pasteur - Paris)

MARDI 27 JANVIER 2026

9:00 - 13:00	TP :	Biophysique <u>Rotation de 4 groupes sur 4 ateliers :</u> Groupe 1 MST / Groupe 2 Fluo Groupe 3 ITC / Groupe 4 BLI	S. Brûlé, C. Caillet-Saguy M. Chevreuil, P. England S. Hoos, B. Raynal, S. Rosario (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 18:00	TP :	Biophysique Groupe 1 BLI / Groupe 2 MST Groupe 3 Fluo / Groupe 4 ITC	S. Brûlé, C. Caillet-Saguy M. Chevreuil, P. England, S. Hoos, B. Raynal, S. Rosario, (Institut Pasteur - Paris)

MERCREDI 28 JANVIER 2026

9:00 - 13:00	TP :	Biophysique Groupe 1 ITC / Groupe 2 BLI Groupe 3 MST / Groupe 4 Fluo	S. Brûlé, C. Caillet-Saguy M. Chevreuil, P. England, S. Hoos, B. Raynal, S. Rosario, (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 18:00	TP :	Biophysique Groupe 1 Fluo / Groupe 2 ITC Groupe 3 BLI / Groupe 4 MST	S. Brûlé, C. Caillet-Saguy M. Chevreuil, P. England, S. Hoos, B. Raynal, S. Rosario, (Institut Pasteur - Paris)

Cours Pasteur de Structure et Fonction des Protéines 2026

JEUDI 29 JANVIER 2026

9:00 - 11:00	TP : Analyse et synthèse des résultats des 4 ateliers	C. Caillet-Saguy N. Wolff (Institut Pasteur - Paris)
11:00 - 13:00	TP : RMN	C. Caillet-Saguy F. Cordier (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 18:00	TP : RMN	C. Caillet-Saguy F. Cordier (Institut Pasteur - Paris)

VENDREDI 30 JANVIER 2026

9:00 - 13:00	TP : RMN	C. Caillet-Saguy F. Cordier (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 16:00	Bilan général	C. Caillet-Saguy N. Wolff (Institut Pasteur - Paris)
16:00 - 18:00	Présentation des projets des étudiants	C. Caillet-Saguy N. Wolff (Institut Pasteur - Paris)

Cours Pasteur de Structure et Fonction des Protéines 2026
Semaine n°5 - du lundi 02.02 au vendredi 06.02.2026

LUNDI 2 FEVRIER 2026

9:00 - 13:00	M2 : Examen (Caractérisation structurale)	C. Caillet-Saguy, T. Rose, N. Wolff (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 15:00	TD : Database des effets des mutations sur la fonction/pathologie	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
15:00 - 17:00	TD : Prédiction des effets des mutations sur la conformation	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
17:00 - 18:00	TD : Bilan prédictions des effets des mutations sur la fonction	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)

MARDI 3 FEVRIER 2026

9:00 - 10:00	Cours : Interactions protéines-protéines et protéines-ligands	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
10:00 - 11:00	TD : Visualisation des interactions protéine-ligand	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
11:00 - 12:00	TD : Calcul théorique des interactions protéine-ligand	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
12:00 - 13:00	TD : Prédiction des interactions protéine-ligand	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 15:00	TD : Visualisation des interactions protéines-protéines	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
15:00 - 16:00	TD : Calcul des interactions protéines-protéines	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
16:00 - 17:00	TD : Prédiction des interactions protéines-protéines	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
17:00 - 18:00	TD : Bilan prédictions des interactions	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)

Cours Pasteur de Structure et Fonction des Protéines 2026

MERCREDI 4 FEVRIER 2026

9:00 - 10:00	Cours : Biochimie intégrative : Imagerie quantitative dans des cellules vivantes	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
10:00 - 11:00	TD : Caractérisation d'interactions ou de fonctions dans des cellules vivantes	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
11:00 - 12:00	TP : <u>Atelier 1</u> : Fluorescence Localisation / interaction	J. Fernandes (Institut Pasteur - Paris)
12:00 - 13:00	TP : <u>Atelier 2</u> : Bioluminescence Cinétique enzymatique	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 15:00	TP : <u>Atelier 3</u> : FCS Vitesse de diffusion cyto/noyau	A. Salles (Institut Pasteur - Paris)
15:00 - 16:00	TP : <u>Atelier 4</u> : Imagerie automatisée Vitesse de translocation nucléaire	N. Aulner (Institut Pasteur - Paris)
16:00 - 18:00	TP: Analyse quantitative des images et Bilan	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)

JEUDI 5 FEVRIER 2026

9:00 - 10:00	Cours : Miniaturisation des procédés d'analyses fonctionnelles : Lab-on-chip	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)
10:00 - 12:00	TP : Conception d'un lab-on-chip	T. Rose, S. Goyard (Institut Pasteur - Paris)
12:00 - 13:00	TP : : Fabrication d'un lab-on-chip par binôme	T. Rose, S. Goyard (Institut Pasteur - Paris)
14:00 - 15:00	TP : Fabrication d'un lab-on-chip par binôme	T. Rose, S. Goyard (Institut Pasteur - Paris)
15:00 - 16:00	TP : Bilan caractérisation fonctionnelle	T. Rose (Institut Pasteur - Paris)

Cours Pasteur de Structure et Fonction des Protéines 2026

VENDREDI 6 FEVRIER 2026

9:00 - 12:00	M3 : Examen (Relation structure-fonction)	C. Caillet-Saguy T. Rose, N. Wolff (Institut Pasteur - Paris)
12:00 - 13:00	Questionnaire de satisfaction	C. Caillet-Saguy T. Rose, N. Wolff (Institut Pasteur - Paris)
13:00 - 15:00	Pot de fin de cours	C. Caillet-Saguy T. Rose, N. Wolff (Institut Pasteur - Paris)
15:00 - 16:00	Présentation du musée IP	C. Pflieger (Institut Pasteur - Paris)

EXAMEN

L'EXAMEN FINAL est organisé en 3 épreuves écrites concernant les cours et les travaux pratiques:

M1 - Clonage, Mutagenèse, Expression et Purification

Date: 16 janvier 2026 10h-13h
Lieu: Salle de cours 4 (sous le restaurant)
Modalité : Questions de cours et de compréhension sur feuille
Durée: 3h
Notation: sur 20
Coefficient : 1

M2 - Caractérisation Structurale et Fonctionnelle

Date: 2 février 2026 9h-13h
Lieu: Salle de cours 4 (sous le restaurant)
Modalité : Questions de cours et de compréhension sur feuille
Durée: 3h
Notation: sur 20
Coefficient : 1

M3 - Relations Structure-Fonction

Date: 6 février 2026 9h-12h
Lieu: Salle de cours 4 (sous le restaurant)
Modalité: QCM en ligne
Durée: 3h
Notation: sur 20
Coefficient : 1

La note finale sera calculée à partir de la moyenne des 3 notes $[(M1+M2+M3)/3]$ sur 20.