

APPEL A PROJETS DE THÈSE 2026 CONCOURS DE L'ED 658 – Sciences du vivant

Formulaire à compléter et déposer par les porteurs du projet de thèse HDR via l'adresse mail suivante :
ed658@univ-amu.fr OU/ET romane.haddadi@univ-amu.fr

MERCI DE METTRE EN SUJET DU MAIL : Concours ED 658 2026 porteur de projet
Ces dossiers seront publiés pour que les candidats postulent.

au plus tard le 3 mars 2026.

INTITULÉ DU PROJET

Rôle de transporteurs membranaires de la membrane plasmique dans le mécanisme de concentration du CO₂ chez l'algue unicellulaire *Chlamydomonas*

1- Directrice ou directeur de thèse HDR

NOM	PELTIER	Prénom	Gilles
Téléphone portable	+33 673 982 032	Courriel	gilles.peltier@cea.fr
Unité de recherche (UR) de rattachement			
Code (acronyme et n°) de l'UR à AMU :		UMR7265	
Nom de l'UR :	Institut de Biosciences et Biotechnologies Aix-Marseille		
Directrice ou directeur de l'UR			
Nom	PIGNOL	Prénom	David

2- Codirectrice ou codirecteur de thèse, le cas échéant

NOM		Prénom	
Téléphone portable		Courriel	
Unité de recherche (UR) de rattachement			
Code (acronyme et n°) de l'UR à AMU :			
Nom de l'UR :			
Directrice ou directeur de l'UR			
Nom		Prénom	

SPECIALITE : (Rayer les mentions inutiles)

~~Bio-informatique et Génomique~~ / ~~Biochimie Structurale~~ / ~~Biologie du Cancer~~ / ~~Biologie du Développement~~ / ~~Biologie Végétale~~ / ~~Biotechnologie~~ / ~~Immunologie~~ / ~~Microbiologie et interactions hôte-pathogènes~~ / ~~Neurosciences~~

SOUS JURY POUR LE CONCOURS : (Rayer les mentions inutiles)

~~JURY 1 : BIOLOGIE CELLULAIRE~~
~~JURY 2 : MICROBIOLOGIE – GENOMIQUE~~
~~JURY 3 : NEUROSCIENCES~~

MERCI DE REMPLIR TOUTES LES INFORMATIONS EN FRANÇAIS ET EN ANGLAIS

APPEL A PROJETS DE THÈSE 2026 CONCOURS DE L'ED 658 – Sciences du vivant

Problématique de recherche

Les microalgues jouent un rôle clé dans la fixation du CO₂, contribuant à près de la moitié de la fixation annuelle mondiale¹. Leur efficacité repose sur des mécanismes de concentration du carbone (CCMs), qui permettent de surmonter la faible efficacité de l'enzyme de fixation, la Rubisco, et la lente diffusion du CO₂ dans les milieux aquatiques². Les CCMs impliquent des opérations séquentielles de transport de carbone inorganique (Ci) et de conversion en HCO₃⁻ grâce à des anhydrases carboniques situées dans différents compartiments cellulaires. Ils permettent une accumulation active de CO₂ dans le pyrénoloïde où la Rubisco est densément concentrée et où le CO₂ est fixé². Chez l'algue modèle *Chlamydomonas reinhardtii*, deux modes de fonctionnement du CCM existent. Quand il est peu limitant, le CO₂ traverse les membranes cellulaires par diffusion jusqu'au stroma du chloroplaste où il est converti en HCO₃⁻ par l'anhydrase carbonique LCIB/LCIC, des canaux anioniques de type bestrophine (BST) permettant ensuite le transit du HCO₃⁻ jusqu'au lumen des thylacoïdes³ où il est reconverti en CO₂^{3,4}. En forte limitation, des transporteurs additionnels s'accumulent dans la membrane plasmique, dont un transporteur de bicarbonate, un canal à CO₂ (LCI1) et une P-ATPase (PMA2). S'il est souvent admis que ces transporteurs permettent une meilleure efficacité du CCM, leur rôle effectif reste mal compris. En effet, les mutants déficients dans l'un ou l'autre de ces transporteurs ne présentent pas de déficit de croissance notable en conditions de limitation en CO₂^{5,6}. Notre équipe a récemment proposé qu'une partie de l'énergie générée par la photosynthèse serait à faire fonctionner le CCM via la fourniture d'ATP à ces transporteurs externes^{4,7}. Par ailleurs, une étude récente a proposé que ces transporteurs interagiraient au sein d'un complexe⁸. Notre hypothèse est que les mécanismes de transport du HCO₃⁻ et du CO₂ se compensent l'un l'autre, le pompage de protons par une ATPase facilitant la conversion du HCO₃⁻ en CO₂ via grâce à des anhydrases carboniques extracellulaires. L'objectif de la thèse sera de clarifier le rôle des transporteurs HLA3, LCI et PMA2, particulièrement la manière dont ils interagissent aux niveaux fonctionnel et moléculaire, et comment ils utilisent l'énergie de la photosynthèse pour une capture efficace du carbone inorganique.

Project description

Microalgae play a key role in CO₂ fixation, contributing to nearly half of global annual fixation¹. Their efficiency is based on carbon concentration mechanisms (CCMs), which overcome the low efficiency of the fixation enzyme, Rubisco, and the slow diffusion of CO₂ in aquatic environments². CCMs involve sequential operations of inorganic carbon (Ci) transport and conversion to HCO₃⁻ by carbonic anhydrases located in different cellular compartments. They enable active accumulation of CO₂ in the pyrenoids, where Rubisco is densely concentrated and where CO₂ is fixed². In the model alga *Chlamydomonas reinhardtii*, there are two modes of CCM operation. When CO₂ is not particularly limiting, it diffuses through the cell membranes to the chloroplast stroma, where it is converted into HCO₃⁻ by the carbonic anhydrase LCIB/LCIC. Bestrophin-type anion channels (BST) then allow HCO₃⁻ to transit to the thylakoid lumen³, where it is converted back into CO₂^{3,4}. When CO₂ is severely limiting, additional transporters accumulate in the plasma membrane, including a bicarbonate transporter, a CO₂ channel (LCI1), and a P-ATPase (PMA2). While it is often accepted that these transporters improve CCM efficiency, their actual role remains poorly understood. Indeed, mutants deficient in either of these transporters do not show growth deficits under CO₂-limited conditions^{5,6}. Our team recently proposed that part of the energy from photosynthesis passing through the mitochondria is used to power these transporters via the supply of ATP^{4,7}. Furthermore, a recent study suggested that these transporters interact within a complex⁸. Our hypothesis is that the mechanisms of HCO₃⁻ and CO₂ transport compensate for each other, with proton pumping by an ATPase facilitating the conversion of HCO₃⁻ to CO₂ via extracellular carbonic anhydrases. The objective of the thesis will be to clarify the role of the HLA3, LCI, and PMA2 transporters, particularly how they interact at the functional and molecular levels, and how they use photosynthetic energy for efficient inorganic carbon capture.

APPEL A PROJETS DE THÈSE 2026 CONCOURS DE L'ED 658 – Sciences du vivant

Mots clés

Fixation du carbone ; Microalgues ; Mécanisme de concentration du CO₂ ; Photosynthèse ; Transporteurs membranaires

Keywords

Carbon fixation; Microalgae; CO₂ concentration mechanism; Photosynthesis; Membrane transporters

Thématique / Domaine / Contexte

L'étude du mécanisme de concentration du CO₂ (CCM) chez les algues présente un intérêt à la fois fondamental et appliqué. Sur le plan fondamental, ces recherches sont essentielles pour mieux comprendre les mécanismes qui régulent les flux de carbone océaniques et pour évaluer plus précisément l'efficacité de la capture du CO₂ par les algues dans des écosystèmes aquatiques soumis aux changements climatiques.

D'un point de vue appliqué, plusieurs équipes à travers le monde cherchent à améliorer la productivité des plantes cultivées en leur intégrant un CCM algal fonctionnel afin d'augmenter leur capacité de fixation du carbone. À ce jour, ces travaux se sont principalement concentrés sur la reconstitution d'un pyrénoïde fonctionnel⁹. Toutefois, afin de transférer un CCM fonctionnel à des plantes, il est crucial de comprendre comment sont régulés les flux de carbone et comment l'énergie de la photosynthèse est utilisée pour un bon fonctionnement du CCM.

Notre équipe a contribué à des avancées majeures dans la compréhension des bases fondamentales du CCM^{3,10}. Nous avons notamment montré comment l'énergie issue de la photosynthèse est mobilisée pour concentrer le carbone inorganique à l'intérieur de la cellule contre un gradient thermodynamique grâce aux voies alternatives de transfert d'électrons qui génèrent le gradient de protons nécessaire à la conversion du HCO₃⁻ en CO₂³. Plus récemment, nous avons dévoilé les interactions complexes existant entre le CCM et la photorespiration, processus antagoniste de la photosynthèse¹⁰.

Theme / Field / Context

The study of the CO₂ concentration mechanism (CCM) in algae is of both fundamental and applied interest. Fundamentally, this research is essential for better understanding the mechanisms that regulate ocean carbon fluxes and for more accurately assessing the effectiveness of CO₂ capture by algae in aquatic ecosystems subject to climate change.

From an applied perspective, several teams around the world are seeking to improve the productivity of cultivated plants by integrating a functional algal CCM in order to increase their carbon fixation capacity. To date, this work has mainly focused on reconstituting a functional pyrenoid⁹. However, in order to transfer a functional CCM to plants, it is crucial to understand how carbon fluxes are regulated and how photosynthetic energy is used for the CCM to function properly.

Our team has made major advances in understanding the fundamental principles of CCM^{3,10}. In particular, we have shown how energy from photosynthesis is used to concentrate inorganic carbon inside the cell against a thermodynamic gradient, thanks to alternative electron transfer pathways that generate the proton gradient needed to convert HCO₃⁻ into CO₂³. More recently, we have revealed the complex interactions between the CCM and photorespiration, a process that antagonizes photosynthesis¹⁰.

APPEL A PROJETS DE THÈSE 2026 CONCOURS DE L'ED 658 – Sciences du vivant

Objectifs

Il s'agira de caractériser les interactions fonctionnelles entre HLA3, LCI1 et ACA4/PMA2 en combinant des approches de génétique (mutants multiples), de caractériser les interactions moléculaires par des expériences de co-immunoprécipitation et d'imagerie en utilisant des souches exprimant des protéines en fusion avec des sondes fluorescentes. On révélera les phénotypes de mutants simples, doubles et triples, en analysant leur croissance en utilisant des photo-bioréacteurs instrumentés, leur capacité à fixer le CO₂, à produire de l'O₂ ou à expulser des protons dans diverses conditions expérimentales. Enfin, sur la base des résultats obtenus, l'étudiant en thèse proposera un modèle intégratif du CCM incluant les flux de carbone et d'énergie liés à ces transporteurs.

Objectives

The aim will be to characterize the functional interactions between HLA3, LCI1, and ACA4/PMA2 by combining genetic approaches (multiple mutants), and to characterize molecular interactions through co-immunoprecipitation and imaging experiments using strains expressing fusion proteins with fluorescent probes. The phenotypes of simple, double or triple mutants will be revealed by analyzing their growth using instrumented photobioreactors, their ability to fix CO₂, produce O₂, or expel protons under various experimental conditions. Finally, based on the results obtained, the PhD student will propose an integrative model of the CCM including the carbon and energy fluxes associated with these transporters.

Méthode

Ce projet fera appel à des approches expérimentales multiples. De génétique, via la création de mutants multiples (simples, doubles et triples) par croisement de simples mutants et/ou par CRISPR-Cas9. De physiologie, via des mesures de croissance algale et des mesures d'activité photosynthétique en présence de concentrations en CO₂ et d'intensités lumineuses variables. L'étudiant utilisera pour cela les ressources de la plateforme Héliobiotec dont six photo-bioréacteurs instrumentés opérés en mode turbidostat, ainsi que d'une minicellule raccordée à un spectromètre de masse pour l'analyse des gaz (CO₂, O₂) et d'une microélectrode pH pour la mesure des flux de protons. Enfin l'analyse de l'expression et de la localisation des transporteurs via l'utilisation de sondes fluorescentes pour la localisation de protéines d'intérêt et la visualisation des flux de protons.

Method

This project will use multiple experimental approaches. Genetics, through the creation of multiple mutants (simple, double and triple) by crossing single mutants and/or using CRISPR-Cas9. Physiology, through measurements of algal growth and photosynthetic activity in the presence of varying CO₂ concentrations and light intensities. To do this, the student will use the resources of the Héliobiotec platform, including six instrumented photobioreactors operated in turbidostat mode, as well as a mini-cell connected to a mass spectrometer for gas analysis (CO₂, O₂) and a pH microelectrode for measuring proton fluxes. Finally, the expression and localization of transporters will be analyzed using fluorescent probes to locate proteins of interest and visualize proton fluxes.

APPEL A PROJETS DE THÈSE 2026 CONCOURS DE L'ED 658 – Sciences du vivant

Références bibliographiques (de l'équipe) – References (from the team)

1. Field C B, Behrenfeld M J, Randerson J T & Falkowski P (1998) Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281, 237–240
2. Mackinder LCM (218) The *Chlamydomonas* CO₂-concentrating mechanism and its potential for engineering photosynthesis in plants. *New Phytol.* 217, 54-61
3. Mukherjee A *et al.* (2019) Thylakoid localized bestrophin-like proteins are essential for the CO₂ concentrating mechanism of *Chlamydomonas reinhardtii*. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 116, 16915-16920
4. Burlacot A, Dao O, Auroy P, Cuié S, Li-Beisson Y, Peltier G (2022) Alternative electron pathways of photosynthesis drive the algal CO₂ concentrating mechanism. *Nature* 605, 366-371 doi.org/10.1038/s41586-022-04662-9
5. Yamano T *et al.* (2015) Characterization of cooperative bicarbonate uptake into chloroplast stroma in the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 112, 7315-7320
6. Kono A & Spalding MH (2020) LCI1, a *Chlamydomonas reinhardtii* plasma membrane protein, functions in active CO₂ uptake under low CO₂. *Plant J.* 102, 1127-1141
7. Burlacot A, Peltier G (2023) Energy crosstalk between photosynthesis and the algal CO₂-concentrating mechanisms. *Trends Plant Sci.* 28, 795-807 doi.org/10.1016/j.tplants.2023.03.018
8. Mackinder LCM *et al.* (2017) A spatial interactome reveals the protein organization of the algal CO₂-concentrating mechanism. *Cell* 171, 133-147.e14
9. Adler L, Díaz-Ramos A, Mao Y, Pukacz KR, Fei C, McCormick AJ (2022) New horizons for building pyrenoid-based CO₂-concentrating mechanisms in plants to improve yields. *Plant Physiol.* 190, 1609–16270
10. Dao O, Bertrand M, *et al.*, Peltier G, Li-Beisson Y (2025) The green algae CO₂ concentrating mechanism and photorespiration jointly operate during acclimation to low CO₂. *Nat. Commun.* doi.org/10.1038/s41467-025-60525-7
11. Burlacot A, Burlacot F, Li-Beisson Y, Peltier G (2020) Membrane Inlet Mass Spectrometry: A power tool for algal research. *Front. Plant Sci.* 11, 1302 doi.org/10.3389/fpls.2020.01302

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche

L'équipe de recherche travaillant sur les mécanismes de concentration du CO₂ chez les algues bénéficie d'une reconnaissance internationale sur l'étude de la photosynthèse et de la fixation de CO₂. Des infrastructures, équipements de recherche et des compétences techniques disponibles sur la [plateforme Héliobiotec](#) sont hébergées au sein du laboratoire et seront disponibles pour le travail de thèse. Il s'agit notamment d'un parc de photobioréacteurs instrumentés, d'enceintes de cultures climatisées pour la culture d'algues, d'un « Membrane Inlet Mass Spectrometer » (MIMS) pour l'analyse isotopique des gaz, d'équipements de mesure de fluorescence de la chlorophylle pour les mesures d'activité photosynthétique, de microscopes confocaux pour l'imagerie de fluorescence ([plateforme ZoOM](#)). L'équipe bénéficie en outre de financements ANR « [RubExCES](#) » (2025-2029) et PEPR FairCarbon « [CO₂CM Ψ](#) » (2024-2028). Ces projets abordent des questions scientifiques en lien avec le CCM et notamment ses conséquences sur le flux de carbone de la photorespiration. L'étudiant en thèse pourra ainsi bénéficier d'un environnement scientifique et technique riche.

Scientific, material, and financial conditions of the research project

The research team working on CO₂ concentration mechanisms in algae is internationally recognized for its work on photosynthesis and CO₂ fixation. The infrastructure, research equipment, and technical expertise available on the [Héliobiotec platform](#) are housed within the laboratory and will be available for thesis work. These include a fleet of instrumented photobioreactors, climate-controlled culture chambers for algae cultivation, a Membrane Inlet Mass Spectrometer (MIMS) for gas isotope analysis, chlorophyll fluorescence measurement equipment for photosynthetic

APPEL A PROJETS DE THÈSE 2026 CONCOURS DE L'ED 658 – Sciences du vivant

activity measurements, and confocal microscopes for fluorescence imaging ([ZoOM platform](#)). The team also benefits from ANR « [RubExCES](#) » (2025-2029) and PEPR FairCarbon « [CO₂CM Ψ](#) » (2024-2028) funding. These projects address scientific issues related to CCM, particularly its consequences on the carbon flux of photorespiration. The PhD student will thus benefit from a rich scientific and technical environment.

Profil et compétences recherchées

Formation : Master 2 en biologie végétale, microbiologie ou biotechnologie.

Compétences techniques : génétique moléculaire (CRISPR, mutants), biochimie (Western blot, immunofluorescence), physiologie (mesure de la photosynthèse, croissance algale), imagerie (microscopie à fluorescence).

Atouts : Expérience en culture d'algues, modélisation, ou analyse de données.

Qualités : Autonomie, rigueur, curiosité scientifique, et bon niveau d'anglais.

Contexte : Travail en équipe pluridisciplinaire, avec accès à des infrastructures modernes.

Idéal pour des candidats motivés par la biologie fondamentale et ses applications environnementales.

Profile and skills required

Education: Master's degree in plant biology, microbiology, or biotechnology.

Technical skills: molecular genetics (CRISPR, mutants), biochemistry (Western blot, immunofluorescence), physiology (photosynthesis measurement, algal growth), imaging (fluorescence microscopy).

Assets: Experience in algae culture, modeling, or data analysis.

Qualities: Independence, rigor, scientific curiosity, and good level of English.

Context: Work in a multidisciplinary team with access to modern facilities.

Ideal for candidates motivated by fundamental biology and its environmental applications.