

hybrides  
**Rencontres**  
Recherche &  
innovation  
en Lumière

# Les applications de l'éclairage dans le monde de l'horticulture

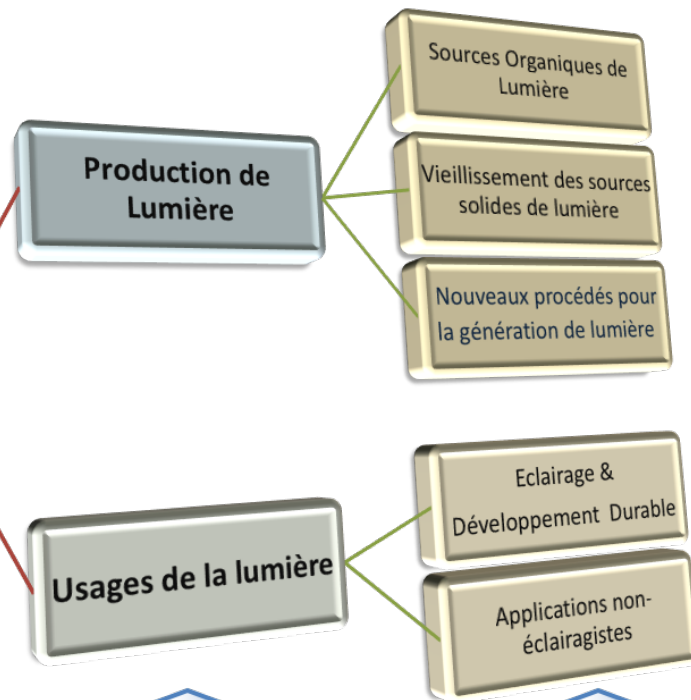
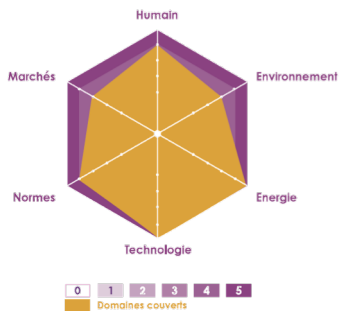
Prof. Georges ZISSIS  
Université Toulouse 3  
[georges.zissis@laplace.univ-tlse.fr](mailto:georges.zissis@laplace.univ-tlse.fr)



# Le groupe Lumière et Matière du LAPLACE

Les thématiques du groupe sont indissociables des applications dont l'éclairage est l'application centrale.

Cluster Lumière (2019)



↑  
**Axes**

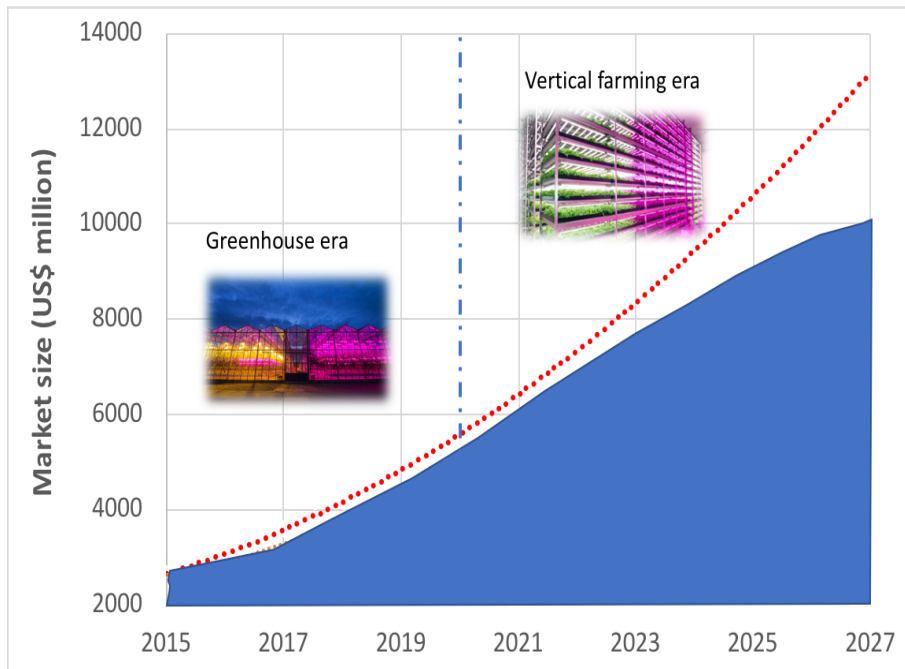
↑  
**Thématiques**

Les pivots de nos activités :

- Analyse fondamentale du système
- Diagnostic & Simulation
- Démonstration & Prototypage

# Le marché de l'éclairage horticoles

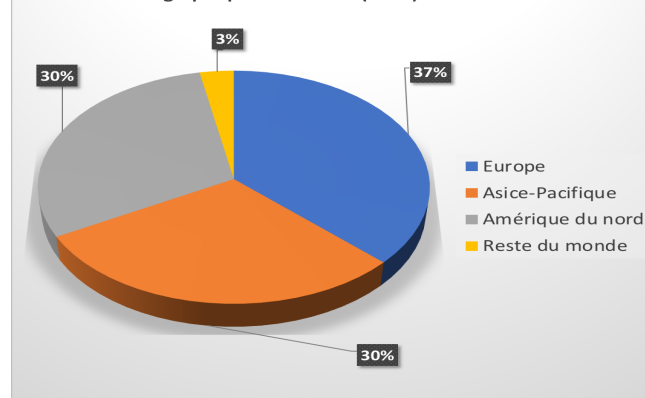
- ✓ Marché de l'éclairage horticoles à LED ~\$3,8 milliards (2017)
- ✓ Croissance (TCAC) de 16,4% entre 2018 et 2023



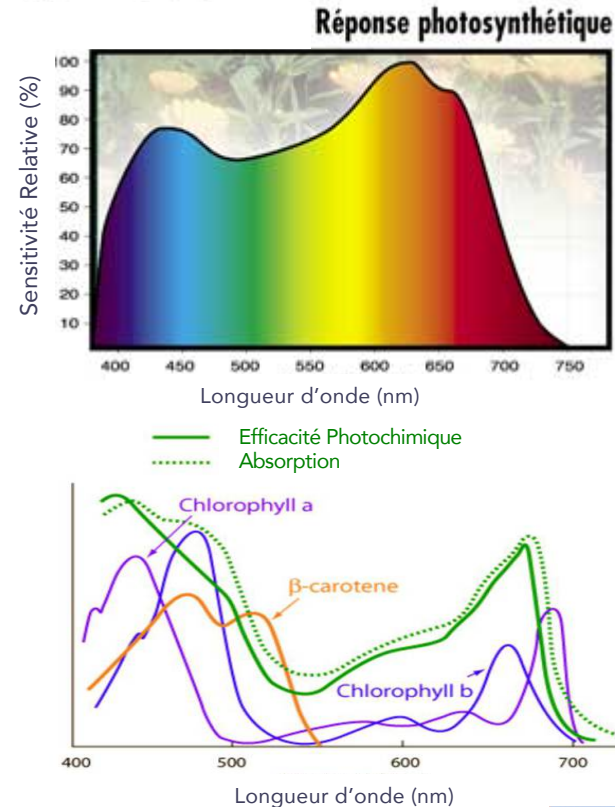
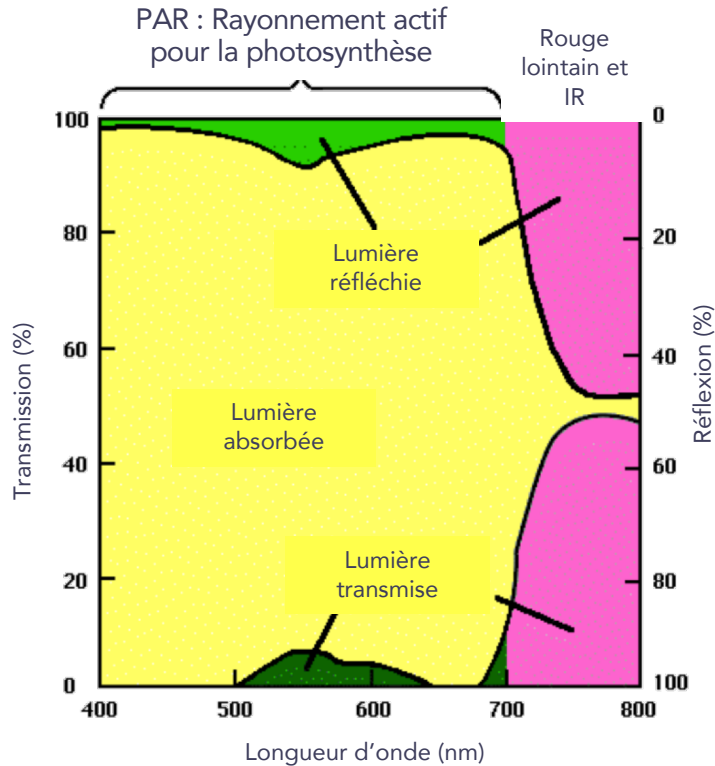
## Applications émergentes:

- Serres urbaines
- Horticulture verticale
- Algae-culture

Distribution Géographique du marché (2018)

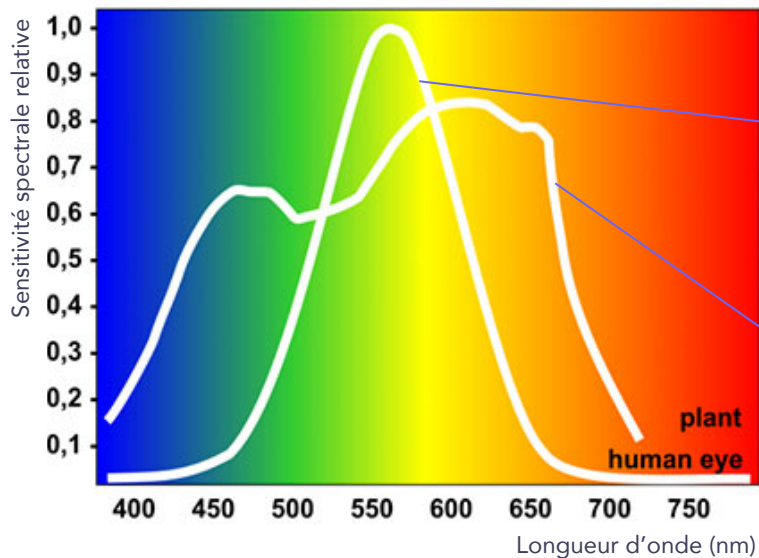


# Les plantes sont adaptées à la lumière naturelle





# L'Homme aussi...



L'Homme moderne  
ne peut pas vivre  
sans lumière...

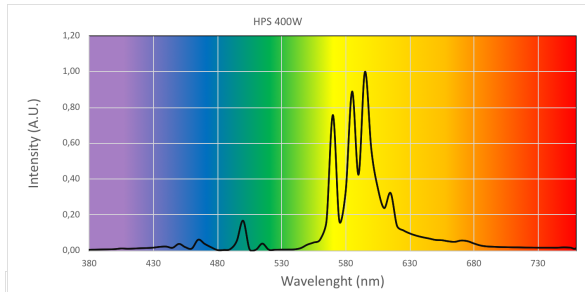


L'Homme a inventé  
des sources de  
lumière artificielle

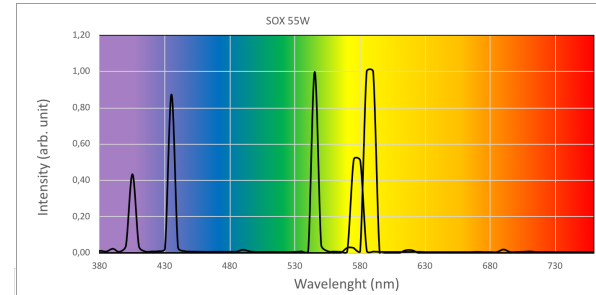


Nos systèmes  
d'éclairage ne sont  
pas adaptés aux  
plantes !

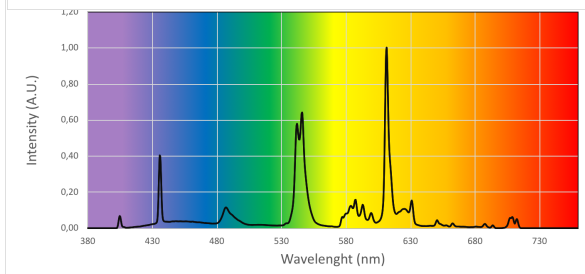
# Quelques exemples des technologies existantes



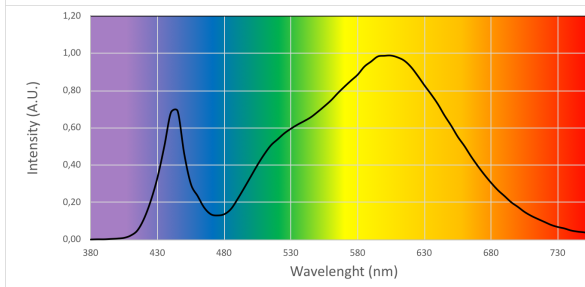
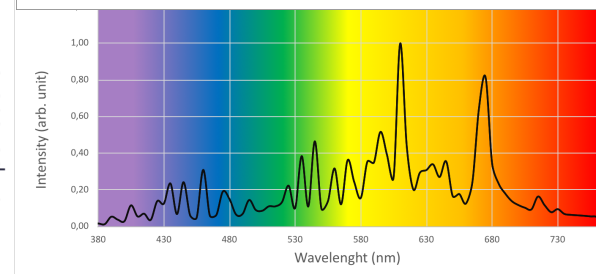
Lampe SHP



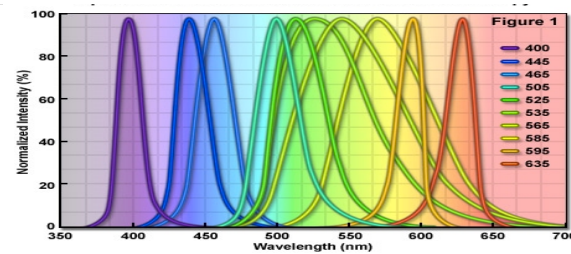
Lampe HID



Lampe iodure



LEDs colorées



# La métrique actuelle

✓ PPF: Photosynthetic Photon Flux density (mol.s<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup>)

$$PPFD = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta}{\Delta s} \left\{ \frac{1}{hcN_A} \int_0^{\infty} \lambda P(\lambda) d\lambda \right\}$$

✓ E: Eclairage (lx)

$$E = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta}{\Delta s} \left\{ \kappa \int_{360nm}^{780nm} V(\lambda) P(\lambda) d\lambda \right\} \quad \kappa = 683 \text{ lm/W}$$

$$\frac{PPFD}{E} = \frac{1}{\kappa hcN_A} \frac{\int_0^{\infty} \lambda P_N(\lambda)}{\int_{360nm}^{780nm} V(\lambda) P_N(\lambda) d\lambda} \Leftrightarrow \boxed{PPFD} = E \cdot k' f(P_N(\lambda))$$

$$k' = \frac{1}{\kappa hcN_A}$$

**Cette métrique est inadaptée !!!**

Cela peut être tabulé

PPF: représente le nombre de photons atteignant le matériel par unité de surface  
 • Chaque photon contribue de la même façon à la photo-synthèse (S. P. Long et al., 2004)

# Comment estimer leur efficacité ?

$$\text{efficacité énergétique} = \frac{\text{Puissance rayonnée}}{\text{Puissance absorbée}}$$



$$\text{efficacité lumineuse} = \frac{\text{Flux lumineux}}{\text{Puissance absorbée}}$$

$$\varepsilon = \frac{\int_0^{\infty} P(\lambda) d\lambda}{P_{in}}$$



$$\text{efficacité photosynthétique} = \frac{PAR}{\text{Puissance absorbée}}$$

$$\eta_V = \frac{\int_{380nm}^{760nm} P(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda}{P_{in}}$$

$$\eta_P = \frac{\kappa_P \int_0^{\infty} P(\lambda) \cdot PAR(\lambda) d\lambda}{P_{in}}$$

Métrique proposée

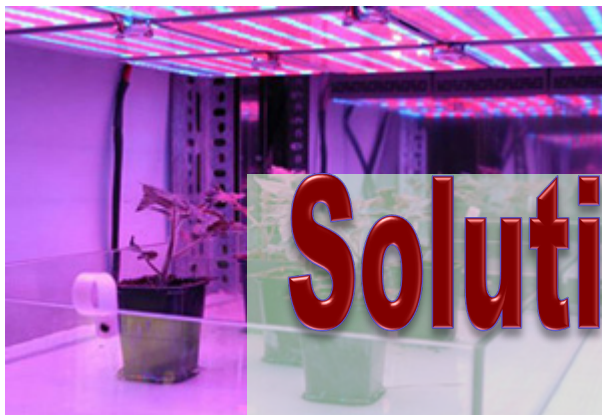
$$\text{efficacité relative} = \frac{\text{eff. photosynthétique}}{\text{eff. photosynth. idéale}}$$

Source idéale:  $P(\lambda) = PAR(\lambda)$



$$\xi = \frac{\int_0^{\infty} P(\lambda) \cdot PAR(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} PAR^2(\lambda) d\lambda}$$

# Les LEDs pour l'horticulture



Combinaisons LEDs bleues et rouges

✓ Efficace pour la photosynthèse

Mauvais pour les travailleurs  
Mauvais pour la couleur et couleur

## Solution optimale:

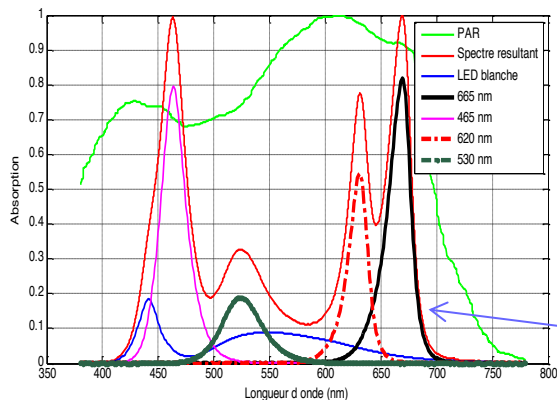
# Lumière Dynamique

LEDs blanches

- ✓ Blanc froid mieux adapté
- ✓ Efficacité photosynthétique moyenne
- ✓ Bonne lumière pour les travailleurs
- ✓ Modulation du flux uniquement



# Que pouvons nous faire avec les LEDs ?

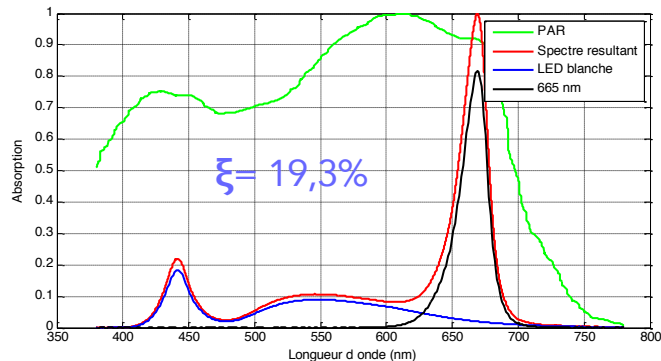
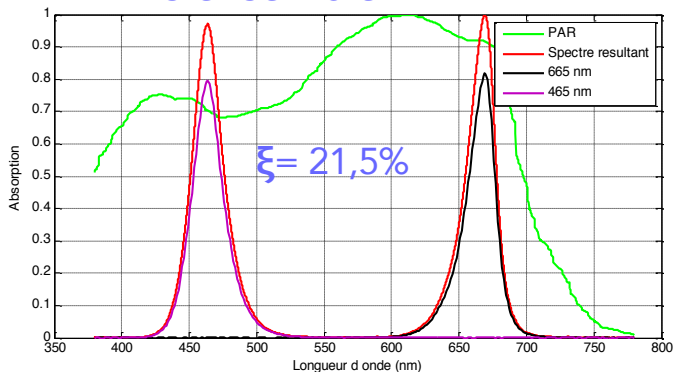


## 1 seule LED

| Sources          | $\xi$ (%) |
|------------------|-----------|
| $\lambda=565$ nm | 11,78     |
| $\lambda=465$ nm | 10,03     |
| $\lambda=620$ nm | 10,93     |

5 LEDs ensemble  
 $\xi = 39,5\%$

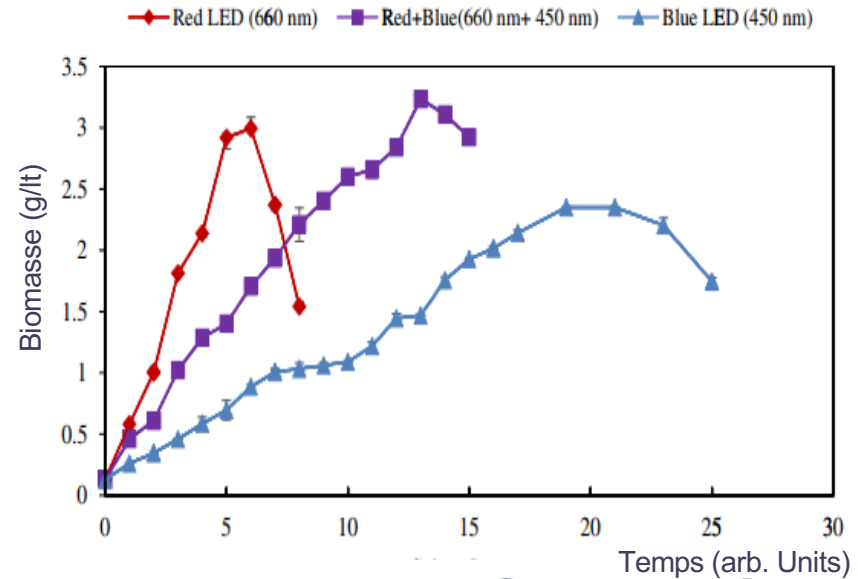
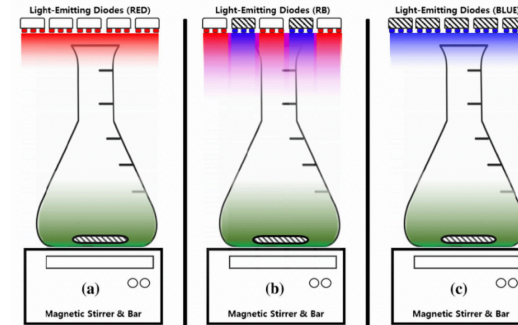
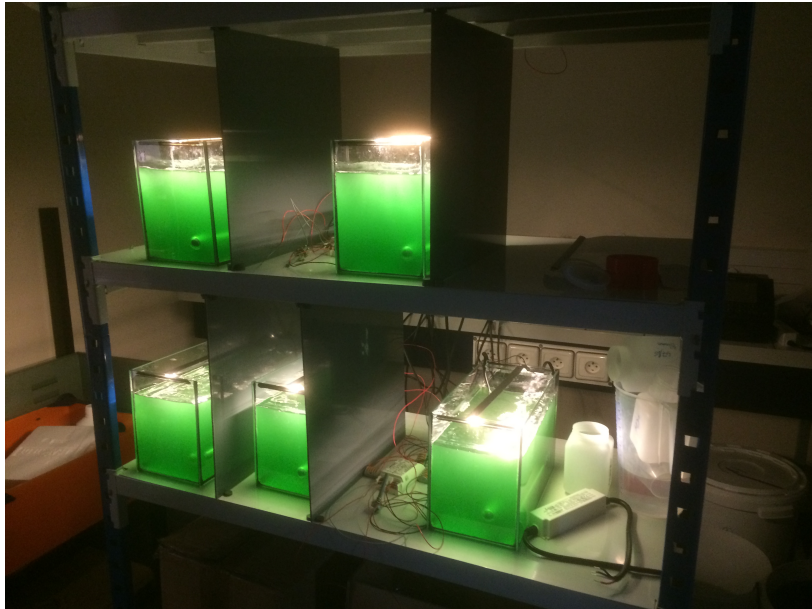
## 2 LEDs ensemble





# La cas de la spiruline

Dispositif expérimental pour la culture de spiruline au LAPLACE



# Questions ?







# November 8th-10th, 2021

## Université Toulouse III – Paul Sabatier

# Toulouse, France



Website :  
<https://eedal-ls21.sciencesconf.org/>



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 857061.



### LS17 important dates\*

|   |  |
|---|--|
| <b>December 15<sup>th</sup> 2020</b>                  | <b>Second announcement and call for papers</b>   |
| <b>January 22<sup>nd</sup> 2021</b>                   | Opening of contributed paper online submission   |
| <b>April 23<sup>th</sup> 2021</b>                     | Deadline for online contributed paper submission |
| <b>May 31<sup>th</sup> 2021</b>                       | Notification of paper acceptance                 |
| <b>June 1<sup>st</sup> 2021</b>                       | Opening of registration                          |
| <b>September 15<sup>th</sup> 2021</b>                 | Deadline for early registration                  |
| <b>November 8<sup>th</sup> – 10<sup>th</sup> 2021</b> | LS17 & EEDAL in Toulouse                         |

\*Dates are subjected to change according sanitary conditions





## ● Domaine

# Science et technologie des systèmes d'éclairage et les usages de la lumière

La **mission** de notre groupe consiste en l'amélioration et l'optimisation des systèmes de production de lumière afin de mieux servir les besoins des usagers.



- ✓ La compréhension du fonctionnement d'un **système complexe**, en passant par l'étude de ses **composants** et de leurs **interactions**, avec objectif final l'optimisation dudit système en fonction de **son application et son usage**.