

# De l'impact de l'ensoleillement sur la croissance de deux variétés de lentilles (*Lens culinaris* subsp. *culinaris* Medik.)

Jean R. Lobry, Université Claude Bernard - Lyon I

2023-10-18

## Résumé

LA CROISSANCE de 15 graines de lentilles (*Lens culinaris* subsp. *culinaris* Medik.) a été suivie pendant 20 jours pour deux variétés (**V1** ou **V2**) et dans deux conditions environnementales (à l'obscurité ou non). L'effort d'échantillonnage était insuffisant pour mettre en évidence des effets significatifs sur les taux de germination des graines. Pour la variété **V1** la taille finale des plants ayant poussés à l'obscurité ( $\hat{\mu}_O = 243$  mm) était significativement ( $\alpha = 0.05$ ) plus grande que celle de ceux ayant poussés en condition de lumière ambiante ( $\hat{\mu}_S = 186$  mm). La taille finale des plants de la variété **V1** était augmentée en moyenne à l'obscurité de 57.8 mm, soit de 31.1 %. Les données de croissance étaient insuffisantes pour la variété **V2** pour pouvoir conclure à un effet des conditions environnementales.

## Note liminaire

CETTE note liminaire, ainsi que toutes les notes de bas de page, sont des commentaires uniquement destinés aux étudiants de l'UE BIO3164L « Statistique impliquée » et n'ont donc pas vocation à figurer dans le rapport à rendre. Vous devrez donc supprimer cette note liminaire ainsi que tout ce qui est `\footnote{...}` dans le fichier `*.Rmd`.

POUR faciliter la gestion des rapports, vous devrez renommer le fichier `BIO3164L.Rmd` en utilisant votre nom et prénom sans caractères diacrités ni espaces ni caractères spéciaux, par exemple pour Stéphanie VON HAY-LES-ROSES en `VonHayLesRosesStephanie.Rmd`. Le rapport doit être déposé au format PDF (soit le fichier `VonHayLesRosesStephanie.pdf`) et ne pas excéder 5 Mio pour pouvoir être déposé sur TOMUSS.

NE JAMAIS JAMAIS JAMAIS faire de copier/coller dans ce document `*.Rmd` à partir d'un logiciel de traitement de texte (type word) ou de toute autre origine<sup>1</sup>. Restez *toujours* dans RStudio pour rédiger votre rapport. Sinon, vous risquez d'avoir des erreurs cryptiques du genre :

```
! LaTeX Error: Unicode character (U+0301) not set up for use with LaTeX.
```

À FIN ne pas être injustement accusé de plagiat il vous suffit de citer dans la section 2.2.7 page 12 vos sources avec une phrase du type : « le présent rapport a été composé en s'inspirant du document `BIO3164L.Rmd` disponible sous licence DSSL<sup>2</sup> ». Pour vous aider à vous y retrouver, tous les textes colorés en bleu peuvent rester tels quels dans votre rapport, alors que les textes colorés en rouge doivent *impérativement* être adaptés à vos propres résultats.

---

1. Sauf si vous êtes absolument certain qu'elle respecte la norme UTF-8.

2. <https://dssl.flyou.net/>

# 1 Introduction

LES lentilles cultivées (*Lens culinaris* subsp. *culinaris* Friedrich Kasimir MEDIKUS, 1787) sont généralement consommées sous la forme des graines d'icelles cuites (*e.g.* petit salé aux lentilles, purée de lentilles, soupe aux lentilles, canard confit aux lentilles, salade de lentilles). Une alternative consiste à faire germer les graines et utiliser les plants produits comme source alimentaire (*e.g.* salade de lentilles germées, falafels de lentilles germées, caviar de lentilles germées, curry de lentilles germées). L'avantage de procéder ainsi est que les plants ont une meilleure valeur nutritionnelles par rapport aux graines dont ils sont issus (Fouad and Rehab 2015 ; Santos et al. 2020 ; Dhull, Kinabo, and Uebersax 2022). Il y a donc un intérêt culinaire et diététique à mieux comprendre quels sont les facteurs qui peuvent influencer la croissance des plants de lentilles.

## 2 Matériel et méthodes

### 2.1 Matériel

#### 2.1.1 Les consommables



FIGURE 1 – Les consommables utilisés pour les expériences, de gauche à droite : du coton hydrophile en bande prédécoupé, la variété **V1** et la variété **V2** de lentilles. Voir la section 1 page 3 pour une description détaillée.

L'ENSEMBLE des consommables utilisés (figure ?? page ??) pour les expériences a été acheté le 2021-09-30<sup>3</sup> au magasin « PROXIMARCHE » sis 10 rue MONTESQUIEU à Bourg-en-Bresse (France). Le coton hydrophile de marque « Auchan », fabriqué en Turquie, portait le numéro de lot 270820 7110 et a été conservé à l'abri de la lumière et de l'humidité avant son utilisation. Ce coton se présente sous la forme d'une bande prédécoupée qui facilite grandement le repérage des graines de lentilles (voir par exemple la figure 3 page 6). Les deux variétés de graines de lentilles (*Lens culinaris* subsp. *culinaris* Friedrich Kasimir MEDIKUS, 1787), notées **V1** et **V2**, étaient les suivantes :

- V1** Des « lentilles vertes de France » de la marque « Le Bon Semeur », conditionnées en Auvergne (SAS TRESCARTE, rue du Couderchou, 43320 LOUDES, France) portant le numéro de lot L075 FRANCE et ayant une date limite de consommation recommandée au mois de mars 2023.
- V2** Des « lentilles vertes issues de l'agriculture biologique » de la marque « Auchan », conditionnées dans le Nord (Soufflet Alimentaire, 41 rue du petit Bruxelles, 59300 Valenciennes, France), sans numéro de lot explicite mais avec une date limite de consommation recommandée 18-02-22 et un indice de traçabilité 08:51.

---

3. Comme on le verra dans la section 2.2.2 page 9 toutes les dates sont ici dans le calendrier grégorien au format ISO 8601.

### 2.1.2 Instruments de mesure

PLUSIEURS instruments ont été testés pour mesurer la longueur des pousses (voir la figure 2 page 5). La partie aérienne des pousses a été mesurée en prenant comme point de repère le résidu de l'enveloppe des graines et l'extrémité de la plus grande feuille.

### 2.1.3 Photographies

LES photographies ont été prise avec un smartphone de marque « SAMSUNG » de type GT-S7275R sous Android 4.2.2. Les fichiers produits pesaient de l'ordre de 1 Mio par photo, ils ont été transférés sur un ordinateur pour les convertir au format jpg avec un taux de compression maximum générant des fichiers de l'ordre de 100 Kio<sup>4</sup>.



FIGURE 2 – Les instruments testés pour mesurer la longueur des pousses : une règle, une équerre, un mètre ruban de couture et un mètre ruban métallique rétractable.

## 2.2 Méthodes

### 2.2.1 Méthodes expérimentales

LES graines de lentilles ont été semées sur du coton hydrophile imbibé d'eau du robinet posé sur une assiette (voir la figure 3 page 6). De l'eau a été ajoutée tous les jours, en la versant sur le fond de l'assiette, de façon à ce que le

---

4. Cette opération de compression est très importante car la taille de votre rapport ne doit pas dépasser 5 Mio, vous ne pourrez pas le déposer sur TOMUSS si vous dépassez cette limite. Vous ne pourrez pas non plus déposer votre dossier dans le forum si vous dépassez les 5 Mio.



FIGURE 3 – Vue de dessus du dispositif expérimental. Les graines de lentilles ont été semées sur du coton hydrophille imbibé d'eau. Pour donner une idée de l'échelle, l'assiette a un diamètre de 26 cm.



FIGURE 4 – Pour maintenir l'obscurité un carton de déménagement de  $30 \times 30 \times 40$  cm a été posé sur l'assiette.

coton reste imbibé d'eau. Deux conditions d'ensoleillement ont été testées : soit l'assiette était laissée à la lumière ambiante, soit l'assiette était couverte par un carton ne laissant pas passer la lumière (voir la figure 4 page 6). Le carton n'a été enlevé que pour procéder aux mesures, soit environ 5 minutes par jour. Pour chaque variété de lentilles, 15 graines ont été semées pour chaque condition environnementale, soit un total de  $2 \times 15 \times 2 = 60$  semis. La distance entre les graines de lentilles était au minimum de 10 mm au début de l'expérience. Un biais d'échantillonnage dans la sélection des graines semées n'est pas à exclure dans la mesure où les graines les plus grosses étaient plus faciles à saisir et à manipuler avec les doigts. Une clef d'identification, donc unique, a été attribuée à chaque graine en concaténant les trois éléments suivants :

- 1° E1 pour la première condition environnementale (soleil) ou E2 pour la seconde condition environnementale (obscurité) ;
- 2° V1 pour la première variété de lentilles ou V2 pour la seconde variété de lentilles ;
- 3° le rang de la graine, codé sur 2 chiffres, dans la ligne du semis.

La clef d'identification E1V1.07 signifie par exemple la 7<sup>e</sup> graine de la variété V1 en condition de lumière ambiante. Les graines ont été semées en suivant une figure asymétrique de façon à ce que, même en cas de perte des repères portés sur la bordure de l'assiette, les graines puissent être identifiées de façon non ambiguë (voir la figure 3 page 6).

Pour minimiser les erreurs de saisie les mesures ont été reportées en mm pour ne pas avoir à saisir de séparateur décimal. Les mesures ont été notées sur un cahier de laboratoire reprenant la disposition des graines (voir la figure 7 page 10). Elles ont été ensuite saisies dans un tableur (LibreOffice<sup>5</sup> version 7.0.4.2, The Document Foundation Copyright © 2000-2020 LibreOffice contributors). Pour faciliter le repérage, les colonnes ont été coloriées par bloc de trois (figure 5 page 8) de façon à évoquer la disposition des gaines (figure 3 page 6).

Le fichier `lentille.ods` a été exporté dans le fichier `lentille.csv` au format CSV en utilisant le format UTF-8 pour l'encodage des caractères, le point virgule « ; » comme séparateur des colonnes et des guillemets droits « " » comme délimiteur des chaînes de caractères (voir la figure 6 page 8). Le format CSV est un acronyme de *Comma Separated Value* signifiant que les colonnes sont normalement séparées par des virgules « , », mais avec un système d'exploitation localisé en France (section 7.1 page 19) cela porterait à confusion puisque la virgule est utilisée comme séparateur décimal. Pour importer les données dans R il faut alors utiliser la fonction `read.csv2()`.

La période d'observation de la croissance des plants de lentilles était du 2022-06-01 au 2022-06-20, inclus, soit un suivi de 20 jours. Dans la mesure du possible l'heure d'observation était 17h00, dans la pratique elle a varié de 16h45 à 20h00.

---

5. Ce logiciel est disponible gratuitement sous Linux, Windows et MacOS, il est donc conseillé de l'installer si vous voulez pouvoir repartir directement du fichier `lentille.ods` pour votre propre expérience.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN				
1																																												
2																																												
3																																												
4																																												
5																																												
6																																												
7																																												
8																																												
9																																												
10																																												
11																																												
12																																												
13																																												
14																																												
15																																												
16																																												
17																																												
18																																												
19																																												
20																																												
21																																												
22																																												
23																																												
24																																												
25																																												
26																																												
27																																												

FIGURE 5 – Copie d’écran du tableur utilisé pour la saisie des données. La première colonne contient les dates de mesure, les colonnes suivantes contiennent les mesures faites pour chaque graine. Voir la figure 8 page 11 pour un zoom.



FIGURE 6 – Les options utilisées lors de l’exportation du fichier `lentille.ods` au format CSV.



### 2.2.2 Format des dates

LES dates manipulées ici sont celles du calendrier grégorien au format ISO 8601, par exemple 2023-10-18. Dans le logiciel R (R Core Team 2021) ce sont des objets de la classe `Date`. L'avantage du format ISO 8601 est que l'ordre chronologique est le même que l'ordre lexicographique<sup>6</sup>.

### 2.2.3 Méthodes statistiques

TOUTES les analyses statistiques ont été faites avec le logiciel R (R Core Team 2021) en utilisant l'interface homme-machine `RStudio`<sup>7</sup> (Version 1.4.1717 © 2009-2021 RStudio, PBC). On trouvera en annexe le détail de l'environnement de travail utilisé ici (section 7.1 page 19). Un risque de première espèce de 5 % ( $\alpha = 0.05$ ) a été utilisé pour tous les tests statistiques.

### 2.2.4 Taux de germination

LES graines de lentilles ayant produit un plan de longueur au moins égale à 10 mm ont été considérées comme ayant germé. Le taux de germination est le rapport exprimé en pourcentage du nombre de graines germées sur le nombre de graines semées. Si on note, pour une variété donnée,  $p_1$  la proportion de lentilles germées dans la condition E1 et  $p_2$  la proportion des lentilles germées dans la condition E2, la table de contingence qui exprime les résultats bruts est de la forme :

	E1	E2
germé	$np_1$	$np_2$
non-germé	$n(1 - p_1)$	$n(1 - p_2)$

LA fonction `mosaicplot()` a été utilisée pour représenter graphiquement ces résultats. Pour tester l'égalité des deux proportions nous nous sommes placés sous l'hypothèse nulle  $H_0 : p_1 = p_2 = p$ , la table précédente avec mention des totaux marginaux s'écrit alors :

	E1	E2	
germé	$np_1$	$np_2$	$2np$
non-germé	$n(1 - p_1)$	$n(1 - p_2)$	$2n(1 - p)$
	$n$	$n$	$2n$

ON se ramène alors à un test d'indépendance du  $\chi^2$  qui a été effectué par simulation avec la fonction `chisq.test()` avec le paramètre `simulate.p.value` forcé à `TRUE` car la faible valeur de nos effectifs ne nous

6. Pour plus de détails sur les possibilités offertes par les objets de la classe `Date` on pourra consulter la fiche « Manipulation de données calendaires appliquée au suivi hebdomadaire de la croissance de dix chênes pendant sept ans » à <https://pbil.univ-lyon1.fr/R/pdf/dendroCHS57.pdf>

7. Pour une introduction basique à cette interface voir : <https://pbil.univ-lyon1.fr/R/pdf/RStudio.pdf>

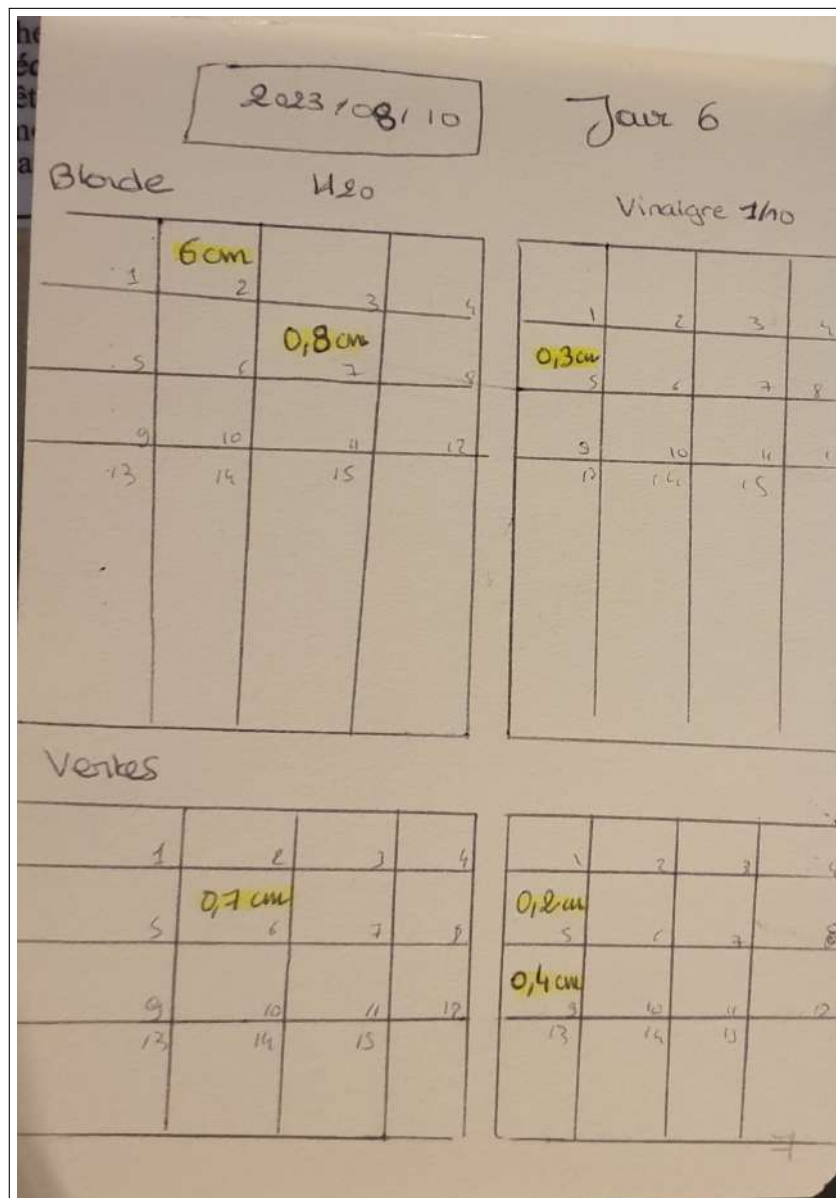


FIGURE 7 – Copie du cahier de laboratoire pour le relevé du 2022-06-09. Les relevés pour la lumière ambiante sont en haut, ceux à l'obscurité en bas. Les tailles des plants de lentille sont notés en mm. La localisation des valeurs suit celle du dispositif expérimental (figure 3 page 6).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	date	E1v1.01	E1v1.02	E1v1.03	E1v1.04	E1v1.05	E1v1.06	E1v1.07	E1v1.08	E1v1.09	E1v1.10	E1v1.11	E1v1.12
2	2022-06-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2022-06-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2022-06-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2022-06-04	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	6	1
6	2022-06-05	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	31	20
7	2022-06-06	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	58	45
8	2022-06-07	0	0	0	0	0	70	0	0	0	0	90	75
9	2022-06-08	0	0	0	0	0	95	0	0	0	0	110	100
10	2022-06-09	0	0	0	0	0	115	0	0	0	0	129	124
11	2022-06-10	0	0	0	0	0	135	0	0	0	0	145	145
12	2022-06-11	0	0	0	0	0	153	0	0	0	0	161	164
13	2022-06-12	0	0	0	0	0	160	0	0	0	0	167	179
14	2022-06-13	0	0	0	0	0	166	0	0	0	0	175	185
15	2022-06-14	0	0	0	0	0	173	0	0	0	0	175	186
16	2022-06-15	0	0	0	0	0	176	0	0	0	0	175	186
17	2022-06-16	0	0	0	0	0	179	0	0	0	0	178	187

FIGURE 8 – Zoom de la figure 5 page 8. La nomenclature utilisée pour désigner les graines de lentilles est expliquée dans la section 2.2.1 page 5.

permet pas d'utiliser la loi du  $\chi^2$  comme une approximation valable de la distribution de la statistique.

## 2.2.5 Modélisation de la croissance des plants

Le modèle de croissance de VERHULST (Verhulst 1838, 1845, 1846, 1847) a été utilisé pour résumer la croissance des plants de lentilles. Le critère des moindres carrés ordinaires a été utilisé pour ajuster le modèle aux données. La fonction `SSlogis()` de la classe `selfStart`<sup>8</sup> a été utilisée pour la mise en œuvre de cet ajustement. La paramétrisation utilisée par `SSlogis()` est la suivante :

$$y = f(x) = \frac{y_{\infty}}{1 + e^{\frac{1}{\sigma}(x_m - x)}}$$

Le paramètre  $y_{\infty}$ , `Asym` pour `SSlogis()`, représente la valeur de l'ordonnée de l'asymptote pour les grandes valeurs de  $x$  :

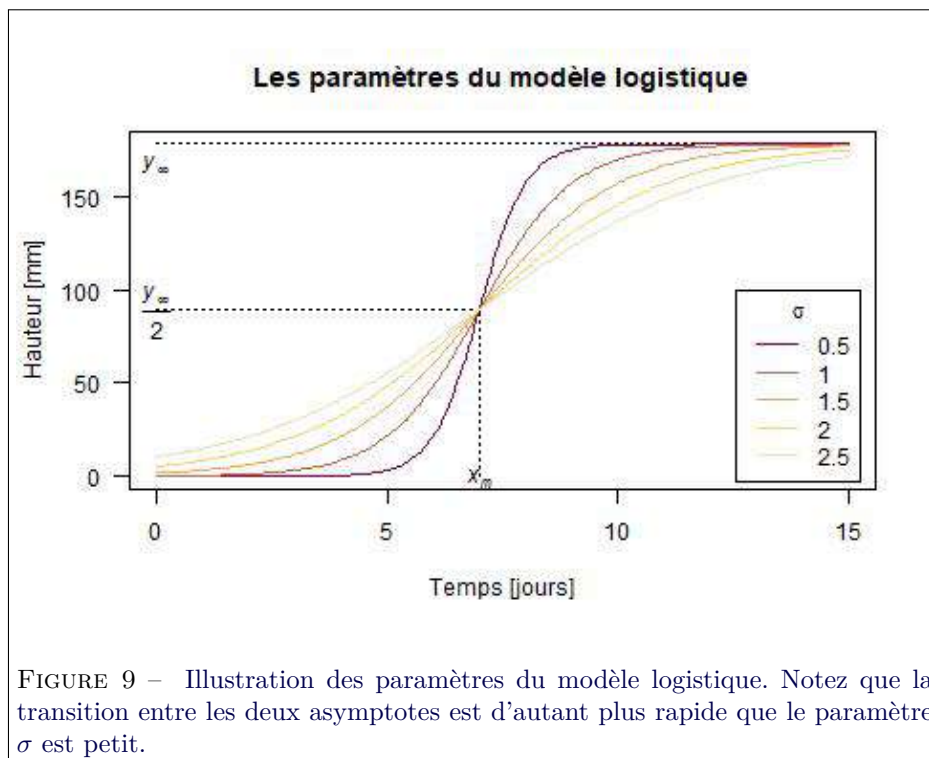
$$\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = y_{\infty}$$

Le paramètre  $x_m$ , `xmid` pour `SSlogis()`, est l'abscisse du point d'inflexion de la courbe de croissance, son ordonnée est à mi-hauteur :

$$f(x_m) = \frac{y_{\infty}}{2}$$

Le paramètre  $\sigma$ , `scal` pour `SSlogis()`, contrôle la vitesse de transition entre les deux asymptotes (voir la figure 9 page 12).

8. Pour plus de détails sur cette classe de modèles voir <https://pbil.univ-lyon1.fr/R/pdf/tdr4SS.pdf>



### 2.2.6 Comparaison des tailles finales

La faiblesse de nos effectifs ne permettait pas de tester de façon fiable les conditions d’application du test paramétrique de comparaison de moyenne entre deux populations (test dit de STUDENT implémenté dans la fonction `t.test()`), nous nous sommes tournés vers son pendant non-paramétrique, le test de WILCOXON-MANN-WHITNEY implémenté dans la fonction `wilcox.test()`.

### 2.2.7 Reproductibilité

POUR faciliter la reproductibilité de ce rapport, il a été composé au format RMarkdown (Xie, Allaire, and Golemund 2018; Xie, Dervieux, and Riederer 2020; Allaire et al. 2020) et pris en charge avec le paquet R `knitr` (Xie 2015, 2014, 2020a). Le paquet R `tinytex` (Xie 2019, 2020b) a été utilisé pour installer la distribution TinyTeX. Les paquets et les macros L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X utilisés sont donnés dans le fichier `preamble.tex` repris dans la section 7.3 page 25. Le code R utilisé est donné en annexe dans la section 7.2 page 19.

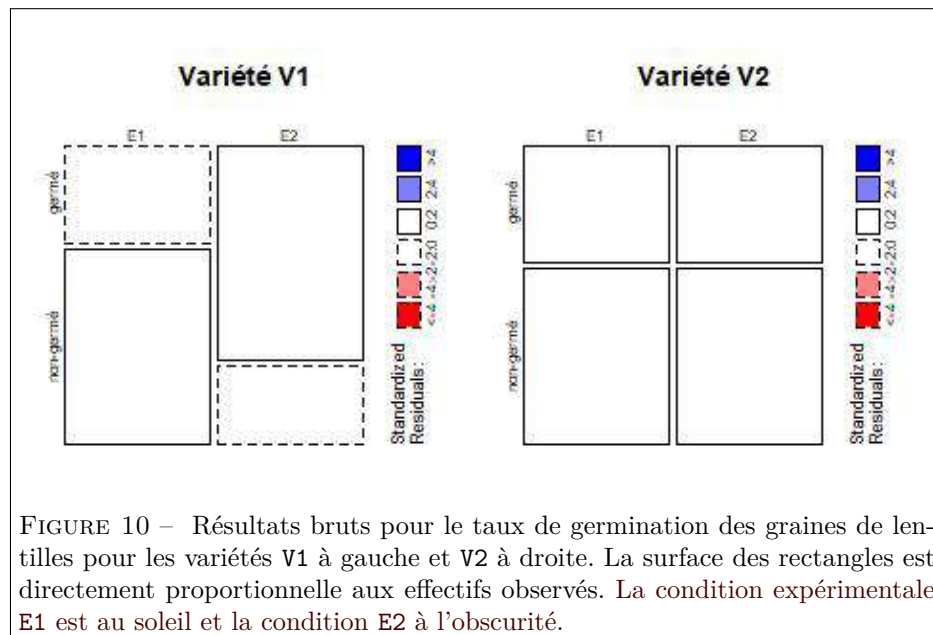
### 3 Résultats

#### 3.1 Instruments de mesure

C'EST l'équerre qui était la plus ergonomique parce que les graduations commencent dès l'extrémité de l'instrument. Malheureusement, il n'avait pas été anticipé que les plants puissent dépasser la longueur du coté adjacent de l'équerre : la plus grande valeur mesurée était de 275 mm alors que l'équerre avait une capacité de 200 mm (voir la figure 2 page 5). Pour les valeurs supérieures à 200 mm c'est la règle, moins ergonomique, qui a été utilisée.

#### 3.2 Taux de germination

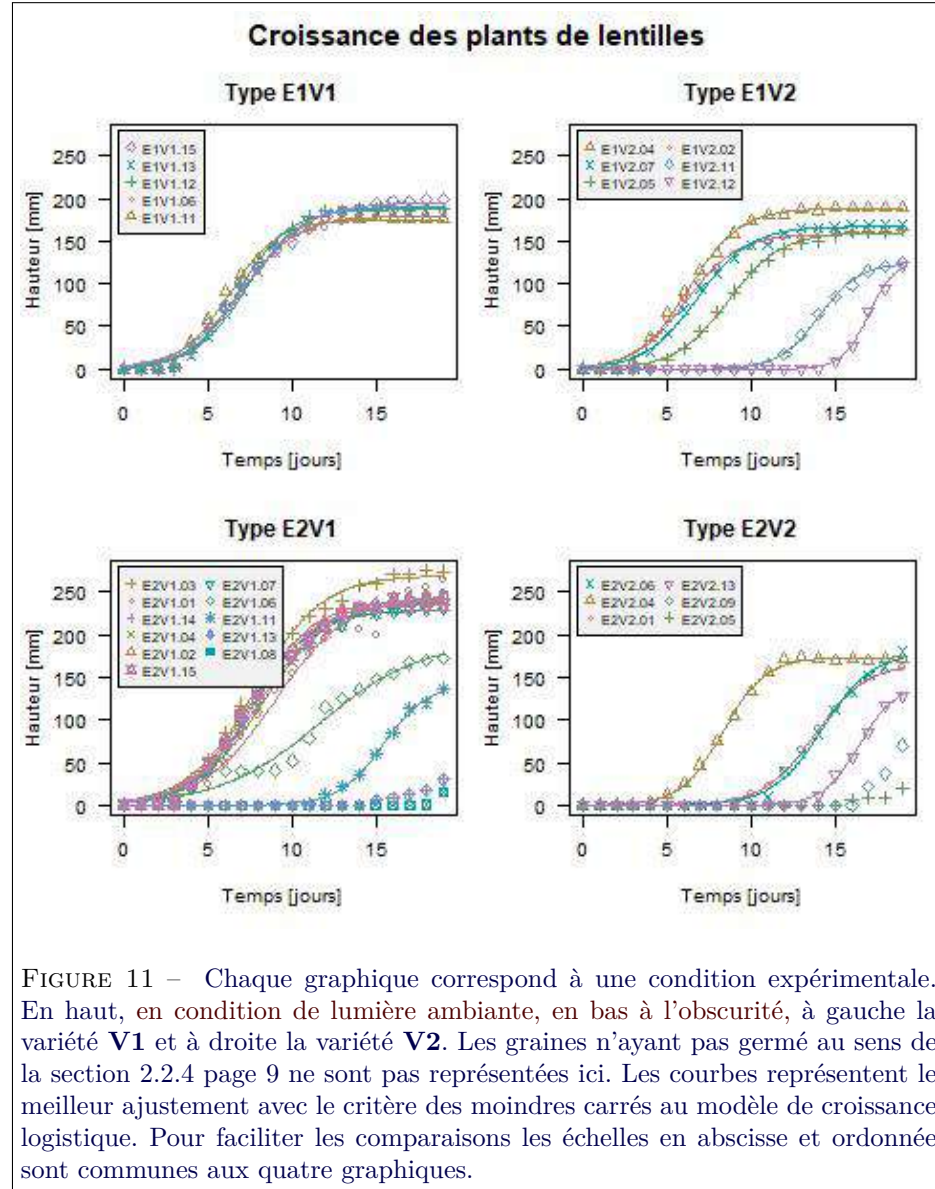
AVEC un seuil de germination de 10 mm pour la longueur des plants, le taux de germination était globalement de 47 %, de 37 % pour la variété **V1**, de 40 % pour la variété **V2**, de 37 % en condition de luminosité ambiante et de 57 % à l'ombre. En condition de luminosité ambiante le taux de germination était de 33 % pour la variété **V1** et de 40 % pour la variété **V2**, et, dans l'obscurité, de 73 % pour la variété **V1** et de 40 % pour la variété **V2**. L'impact des conditions environnementales sur les taux de germination sont représentés sur la figure 10 page 13.



LA *p-value* pour les tests de comparaison du taux de germination en fonction des conditions expérimentales était de 0.0635 pour la variété V1 et de 1 pour la variété V2. Avec un risque de première espèce  $\alpha = 0.05$ , nous sommes donc dans l'incapacité de rejeter l'hypothèse nulle pour les deux variétés de lentilles. Nous acceptons donc, faute de mieux, avec un risque de seconde espèce

inconnu, l'hypothèse de l'absence d'effet des conditions expérimentales sur le taux de germination des lentilles.

### 3.3 Courbes de croissance



LES courbes de croissance des plants de lentille sont représentées dans la figure 11 page 14. Les paramètres du modèle logistique sont donnés dans la table 1 page 15. Les courbes de croissances étaient remarquablement synchrones pour le type **E1V1** alors que pour les autres types il y avait des croissances tar-

	$y_\infty$ [mm]	$x_m$ [j]	$\sigma$	[j <sup>-1</sup> ]	env	var
E1V1.06	179.37	7.00		1.64	E1	V1
E1V1.11	175.30	6.24		1.47	E1	V1
E1V1.12	187.27	6.88		1.48	E1	V1
E1V1.13	190.77	7.31		1.60	E1	V1
E1V1.15	195.17	7.20		1.87	E1	V1
E1V2.02	158.19	6.11		1.53	E1	V2
E1V2.04	188.49	6.29		1.52	E1	V2
E1V2.05	159.98	8.63		1.57	E1	V2
E1V2.07	167.24	6.82		1.58	E1	V2
E1V2.11	124.46	14.05		1.20	E1	V2
E1V2.12	128.61	17.00		0.81	E1	V2
E2V1.01	246.11	8.99		2.18	E2	V1
E2V1.02	240.72	7.58		1.89	E2	V1
E2V1.03	269.58	7.78		2.00	E2	V1
E2V1.04	238.96	8.23		2.01	E2	V1
E2V1.06	191.62	11.62		2.98	E2	V1
E2V1.07	228.60	7.62		1.73	E2	V1
E2V1.08					E2	V1
E2V1.11	143.11	15.44		1.33	E2	V1
E2V1.13					E2	V1
E2V1.14	243.53	8.11		2.05	E2	V1
E2V1.15	235.84	7.69		1.86	E2	V1
E2V2.01	166.41	13.81		1.54	E2	V2
E2V2.04	173.50	8.35		1.27	E2	V2
E2V2.05					E2	V2
E2V2.06	179.34	14.24		1.49	E2	V2
E2V2.09					E2	V2
E2V2.13	141.57	16.44		1.08	E2	V2

TABLE 1 – Les paramètres du modèle logistique au 2022-06-20. Les valeurs manquantes signifient que les paramètres du modèle ( $y_\infty$ ,  $x_m$  et  $\sigma$ ) n’ont pas pu être estimées. La signification des paramètres est donnée dans la section 2.2.5 page 11. Les colonnes env et var précisent les conditions expérimentales et les variétés de lentilles, respectivement (voir la section 2.2.1 page 5).

	n	moyenne
E1V1	5	185.6
E1V2	4	168.5
E2V1	7	243.3
E2V2	1	173.5

TABLE 2 – Longueurs moyennes finales des plants de lentilles.

dives. Pour les croissances les plus précoces, le paramètre  $x_m$  était typiquement de 7 jours, signifiant que la croissance était terminée au bout de deux semaines. La taille finale,  $y_\infty$ , ne pouvait être appréciée que pour les plants ayant achevé leur croissance. Le critère d’exclusion  $x_m \geq 10$  j a été utilisé pour ne pas tenir compte des pousses tardives dans l’estimation de  $y_\infty$ .

### 3.4 Comparaison des tailles finales

La  $p$  value du test était de 0.00253 pour la variété V1 et de 0.8 pour la variété V2. Les données expérimentales étaient en contradiction avec l’hypothèse de l’égalité des tailles pour la variété V1 entre les conditions en lumière ambiante et celle à l’obscurité.

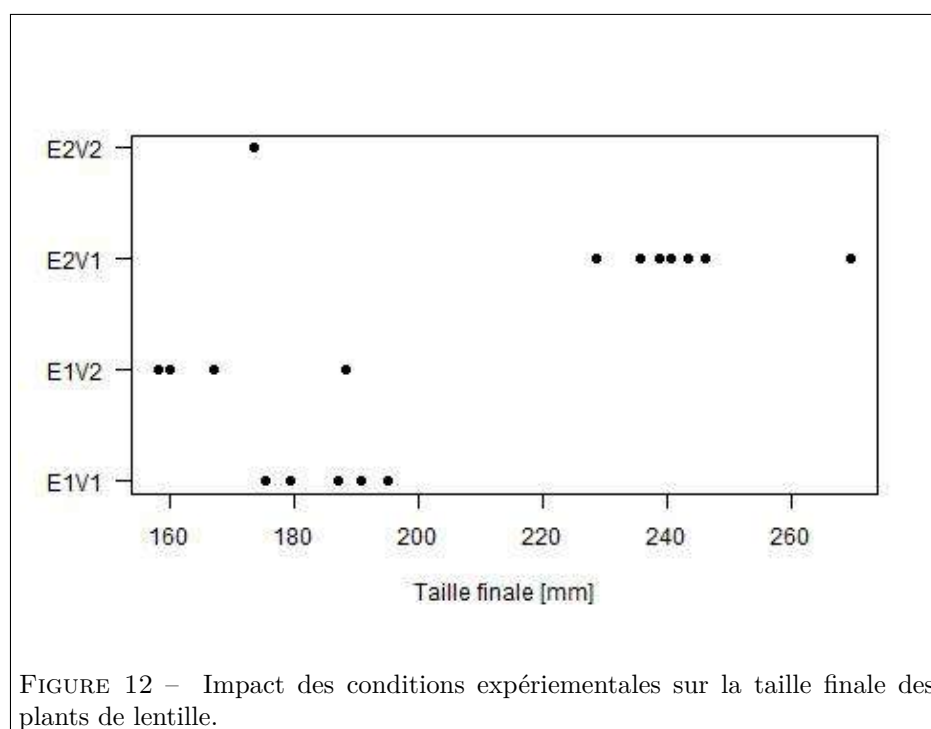


FIGURE 12 – Impact des conditions expérimentales sur la taille finale des plants de lentille.



## 4 Discussion

### 4.1 Taux de germination

J'AI été déçu par le taux relativement faible de germination observé dans mes expériences. Je manque d'éléments de comparaison, mais dans une expérience similaire en condition de lumière ambiante (Marie-Claude VENNÉ, communication personnelle) la germination avait été observée pour 20 lentilles sur 60 semées, soit un taux de 33.3 %, comparable à celui de 36.7 % observé ici. La petite taille des échantillons utilisés ici ne permet clairement pas de conclure quoi que ce soit de statistiquement significatif quant à l'effet des conditions de culture sur le taux de germination (voir la section 3.2 page 13).

### 4.2 Courbes de croissance

POUR la variété **V1**, comme le montre la figure 12 page 16, la taille finale des plants ayant poussés à l'obscurité ( $\hat{\mu}_O = 243$  mm) était significativement ( $\alpha = 0.05$ ) plus grande que celle de ceux ayant poussés en condition de lumière ambiante ( $\hat{\mu}_S = 186$  mm). L'obscurité augmente ainsi la taille finale des plants de la variété **V1** de 31.1 %. Une interprétation possible est qu'il s'agit d'un phénomène adaptatif. Dans les conditions naturelles les graines seront à l'obscurité quand elles sont enfouies dans le sol, il y aurait donc un avantage sélectif à allonger la tige au maximum pour trouver la lumière nécessaire à la photosynthèse. Elles pourraient être également en compétition avec d'autres plants pour la captation de la lumière et avoir intérêt à allonger la tige si elle se retrouve à l'ombre.

## 5 Conclusion

POUR la production de plants de lentilles on aura intérêt à utiliser des graines de la variété **V1** semées à l'obscurité.

## 6 Bibliographie

- Allaire, JJ, Yihui Xie, Jonathan McPherson, Javier Luraschi, Kevin Ushey, Aron Atkins, Hadley Wickham, Joe Cheng, Winston Chang, and Richard Iannone. 2020. *Rmarkdown : Dynamic Documents for r*. <https://github.com/rstudio/rmarkdown>.
- Dhull, S. B., J. Kinabo, and M. A. Uebersax. 2022. "Nutrient Profile and Effect of Processing Methods on the Composition and Functional Properties of Lentils (*Lens Culinaris* Medik) : A Review." *Legume Science*, e156.
- Fouad, A. A., and F. M. Rehab. 2015. "Effect of Germination Time on Proximate Analysis, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Lentil (*Lens Culinaris* Medik.) Sprouts." *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria* 14 : 233–46.

- R Core Team. 2021. *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria : R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- Santos, C. S., B. Silva, L. M. P. Valente, S. Gruber, and M. W. Vasconcelos. 2020. “The Effect of Sprouting in Lentil (*Lens Culinaris*) Nutritional and Microbiological Profile.” *Foods* 9 (4) : 400.
- Verhulst, P.-F. 1838. “Notice Sur La Loi Que La Population Suit Dans Son Accroissement.” *Correspondance Mathématique Et Physique* 10 : 113–21.
- . 1845. “Recherches Mathématiques Sur La Loi d’accroissement de La Population.” *Nouveaux Mémoires de l’académie Royale Des Sciences, Des Lettres Et Des Beaux-Arts de Belgique* 18 : 1–38.
- . 1846. “Note Sur La Loi d’accroissement de La Population.” *Bulletins de l’Académie Royale Des Sciences Et Belles-Lettres de Bruxelles* 13.
- . 1847. “Deuxième Mémoire Sur La Loi d’accroissement de La Population.” *Mémoires de l’académie Royale Des Sciences, Des Lettres Et Des Beaux-Arts de Belgique* 20 : 1–32.
- Xie, Yihui. 2014. “Knitr : A Comprehensive Tool for Reproducible Research in R.” In *Implementing Reproducible Computational Research*, edited by Victoria Stodden, Friedrich Leisch, and Roger D. Peng. Chapman ; Hall/CRC. <http://www.crcpress.com/product/isbn/9781466561595>.
- . 2015. *Dynamic Documents with R and Knitr*. 2nd ed. Boca Raton, Florida : Chapman ; Hall/CRC. <https://yihui.org/knitr/>.
- . 2019. “TinyTeX : A Lightweight, Cross-Platform, and Easy-to-Maintain LaTeX Distribution Based on TeX Live.” *TUGboat*, no. 1 : 30–32. <http://tug.org/TUGboat/Contents/contents40-1.html>.
- . 2020a. *Knitr : A General-Purpose Package for Dynamic Report Generation in r*. <https://yihui.org/knitr/>.
- . 2020b. *Tinytex : Helper Functions to Install and Maintain TeX Live, and Compile LaTeX Documents*. <https://github.com/yihui/tinytex>.
- Xie, Yihui, J. J. Allaire, and Garrett Golemund. 2018. *R Markdown : The Definitive Guide*. Boca Raton, Florida : Chapman ; Hall/CRC. <https://bookdown.org/yihui/rmarkdown>.
- Xie, Yihui, Christophe Dervieux, and Emily Riederer. 2020. *R Markdown Cookbook*. Boca Raton, Florida : Chapman ; Hall/CRC. <https://bookdown.org/yihui/rmarkdown-cookbook>.

## 7 Annexes

### 7.1 Environnement de travail

- R version 4.3.1 (2023-06-16 ucrt), x86\_64-w64-mingw32
- Locale : LC\_COLLATE=French\_France.utf8, LC\_CTYPE=French\_France.utf8, LC\_MONETARY=French\_France.utf8, LC\_NUMERIC=C, LC\_TIME=French\_France.utf8
- Time zone : Europe/Paris
- TZcode source : internal
- Running under : Windows 11 x64 (build 22621)
- Matrix products : default
- Base packages : base, datasets, graphics, grDevices, methods, stats, utils
- Other packages : xtable 1.8-4
- Loaded via a namespace (and not attached) : cli 3.6.1, compiler 4.3.1, digest 0.6.33, evaluate 0.21, fastmap 1.1.1, htmltools 0.5.6, knitr 1.44, rlang 1.1.1, rmarkdown 2.25, tools 4.3.1, xfun 0.40, yaml 2.3.7

### 7.2 Code R utilisé

```
#####
# Paramètres généraux utilisés dans tout le document #
#####

# Les paquets R utilisés :
library(xtable) # Pour générer des tables LaTeX

# Le risque de première espèce pour les tests statistiques :
alpha <- 0.05

# Le seuil en mm pour déclarer qu'il y a eu germination
seuilG <- 10

# Les types de conditions expérimentales et les variétés
# de lentilles existants :
all.types <- c("E1V1", "E1V2", "E2V1", "E2V2")

#####
# Importation du jeu de données #
#####

lentilles <- read.csv2("data/lentilles.csv")

# Remarque : si besoin de revenir aux données originelles faire
# lentilles <- read.csv2("data/sauvegardes/lentilles.csv")

#####
# Utilisation de la classe Date #
#####

lentilles$date <- as.Date(lentilles$date)
deb <- min(lentilles$date) # Début de l'expérience
fin <- max(lentilles$date) # Fin de l'expérience

# On pourra ensuite utiliser ces variables dans le corps du rapport avec
# des constructions du type : du `r deb` au `r fin`, inclus, soit un
# suivi de `r 1 + (fin - deb)` jours.

#####
# Contrôles de qualité #
#####
```

```

# Contrôle de qualité : 61 colonnes attendues

if(ncol(lentilles) != 61) stop("Il n'y a pas 61 colonnes comme attendu")

# Contrôle de qualité : l'expérience dure environ 21 jours, si on a plus de
# 42 jours c'est certainement que les dates ne sont pas au format ISO 8601
# dans le fichier importé.

if(difftime(fin, deb) > 42)
  stop("Vérifiez que les dates soient bien au format ISO 8601")

# Contrôle de qualité : si l'importation des données est correcte, les
# colonnes de 2 à 61 doivent être de la classe 'integer'

for(j in 2:61){
  if(class(lentilles[, j]) != "integer"){
    nomcol <- colnames(lentilles)[j]
    msg <- paste("La colonne numéro", j, ":", nomcol, "n'est pas du type 'integer'")
    stop(msg)
  }
}

# Contrôle de qualité : si l'importation des données est correcte, il n'y
# a pas de valeurs manquantes dans toutes les colonnes. On renseigne ici la
# colonne éventuellement impliquée.

for(j in 1:61){
  if(any(is.na(lentilles[, j]))){
    nomcol <- colnames(lentilles)[j]
    msg <- paste("La colonne numéro", j, ":", nomcol, "comporte des valeurs manquantes")
    stop(msg)
  }
}

# Contrôle de qualité : le nom des colonnes est imposé

noms.attendus <-
c("date", "E1V1.01", "E1V1.02", "E1V1.03", "E1V1.04", "E1V1.05",
"E1V1.06", "E1V1.07", "E1V1.08", "E1V1.09", "E1V1.10", "E1V1.11",
"E1V1.12", "E1V1.13", "E1V1.14", "E1V1.15", "E1V2.01", "E1V2.02",
"E1V2.03", "E1V2.04", "E1V2.05", "E1V2.06", "E1V2.07", "E1V2.08",
"E1V2.09", "E1V2.10", "E1V2.11", "E1V2.12", "E1V2.13", "E1V2.14",
"E1V2.15", "E2V1.01", "E2V1.02", "E2V1.03", "E2V1.04", "E2V1.05",
"E2V1.06", "E2V1.07", "E2V1.08", "E2V1.09", "E2V1.10", "E2V1.11",
"E2V1.12", "E2V1.13", "E2V1.14", "E2V1.15", "E2V2.01", "E2V2.02",
"E2V2.03", "E2V2.04", "E2V2.05", "E2V2.06", "E2V2.07", "E2V2.08",
"E2V2.09", "E2V2.10", "E2V2.11", "E2V2.12", "E2V2.13", "E2V2.14",
"E2V2.15")

if(!identical(colnames(lentilles), noms.attendus)){
  stop("Le nom des colonnes n'est pas conforme")
}

# Si les contrôles de qualité sont passés, on sauvegarde les données
# pour pouvoir les exploiter en dehors du présent *.Rmd dans une
# session R avec load("data/lentilles.Rda"). On ajoute la date à
# laquelle a été généré l'objet lentilles en commentaire pour
# aider à la traçabilité.

comment(lentilles) <- paste("Généré le", Sys.time())

save(lentilles, file = "data/lentilles.Rda")

#####
# Illustration des paramètres du modèle logistique #
#####

logistique <- function(x, Asym, xmid, scal){
  return(Asym/(1 + exp((xmid - x)/scal)))
}
jpeg("figs/paramlogis.jpg", width = 480, height = 320)

```

```

# Définition de la fenêtre graphique :
plot.new()
jdeb <- 0 ; jfin <- 15 ; xlim <- c(jdeb, jfin)
# exemple avec une lentille qui a poussé :
Asym <- 178 ; xmid <- 7 ; scal <- 1.5
ylim <- c(0, Asym)
plot.window(xlim = xlim, ylim = ylim)
title(main = "Les paramètres du modèle logistique")
axis(2, las = 1) ; title(ylab = "Hauteur [mm]")
axis(1) ; title(xlab = "Temps [jours]") ; box()
xx <- seq(jdeb, jfin, le = 256)
points(xx, logistique(xx, Asym, xmid, scal), type = "l")
segments(jdeb, Asym, jfin, Asym, lty = 3)
text(jdeb, Asym - 10, expression(italic(y)[infinity]))
segments(jdeb, Asym/2, xmid, Asym/2, lty = 3)
text(jdeb, Asym/2, expression(frac(italic(y)[infinity], 2)))
segments(xmid, 0, xmid, Asym/2, lty = 3)
text(xmid, 0, expression(italic(x[m])))
sseq <- seq(0.5, 2.5, by = 0.5) ; ns <- length(sseq)
col <- hcl.colors(ns, "Heat")
for(i in seq_len(ns))
  points(xx, logistique(xx, Asym, xmid, sseq[i]), type = "l",
        col = col[i])
legend("bottomright", inset = 0.02, legend = sseq, lty = 1,
      col = col, title = expression(sigma))
dev.off()

#####
# Calcul des taux de germination #
#####

# Extraction des deux premiers caractères du nom des colonnes
# pour avoir le type d'expérience (E1V1, E1V2, E2V2, E2V2) :
nomenclature <- substr(colnames(lentilles), 1, 4)
# Calcul de l'indice ifin de la dernière mesure de
# l'expérience :
ifin <- nrow(lentilles)

# Boucle sur les 4 types de graines possibles
for(type in all.types)
{
  # Calcul du nombre de graines semées :
  assign(paste0("n.", type), sum(nomenclature == type))
  # Calcul du nombre de graines germées (i.e. longueur des plants
  # au moins égal à seuilG à la fin de l'expérience) :
  assign(paste0("ng.", type),
        sum(lentilles[ifin, nomenclature == type] > seuilG))
  # Calcul des taux de germination en pourcentage
  assign(paste0("tg.", type),
        100*get(paste0("ng.", type))/get(paste0("n.", type)))
}

# Taux de germination global :
n.glob <- sum(sapply(paste0("n.", all.types), get))
ng.glob <- sum(sapply(paste0("ng.", all.types), get))
tg.glob <- 100*ng.glob/n.glob
# Taux de germination de la variété V1 :
typeV1 <- c("E1V1", "E2V2")
n.V1 <- sum(sapply(paste0("n.", typeV1), get))
ng.V1 <- sum(sapply(paste0("ng.", typeV1), get))
tg.V1 <- 100*ng.V1/n.V1
# Taux de germination de la variété V2 :
typeV2 <- c("E1V2", "E2V2")
n.V2 <- sum(sapply(paste0("n.", typeV2), get))
ng.V2 <- sum(sapply(paste0("ng.", typeV2), get))
tg.V2 <- 100*ng.V2/n.V2
# Taux de germination de la condition E1 :
typeE1 <- c("E1V1", "E1V2")
n.E1 <- sum(sapply(paste0("n.", typeE1), get))
ng.E1 <- sum(sapply(paste0("ng.", typeE1), get))
tg.E1 <- 100*ng.E1/n.E1
# Taux de germination de la condition E2 :
typeE2 <- c("E2V1", "E2V2")

```

```

n.E2 <- sum(sapply(paste0("n.", typeE2), get))
ng.E2 <- sum(sapply(paste0("ng.", typeE2), get))
tg.E2 <- 100*ng.E2/n.E2
#####
# Représentation graphique du taux de germination #
#####

mkjpeg <- TRUE
if(mkjpeg) jpeg("figs/tauxG.jpg", width = 480, height = 240)

# Calcul des résultats bruts pour la variété V1
resbrutV1 <- matrix(c(ng.E1V1, n.V1/2 - ng.E1V1,
                     ng.E2V1, n.V1/2 - ng.E2V1), nrow = 2, ncol = 2)
rownames(resbrutV1) <- c("germé", "non-germé")
colnames(resbrutV1) <- c("E1", "E2")
# Calcul des résultats bruts pour la variété V2
resbrutV2 <- matrix(c(ng.E1V2, n.V2/2 - ng.E1V2,
                     ng.E2V2, n.V2/2 - ng.E2V2), nrow = 2, ncol = 2)
rownames(resbrutV2) <- c("germé", "non-germé")
colnames(resbrutV2) <- c("E1", "E2")
# Représentation graphique
par(mfrow = c(1, 2), mar = c(1, 1, 4, 1) + 0.1)
mosaicplot(t(resbrutV1), shade = TRUE, main = "Variété V1")
mosaicplot(t(resbrutV2), shade = TRUE, main = "Variété V2")
if(mkjpeg) dev.off()

#####
# Test de l'impact des conditions environnementales sur
# le taux de germination des variétés V1 et V2
#####
tgtestV1 <- chisq.test(resbrutV1, simulate.p.value = TRUE)$p.value
tgtestV2 <- chisq.test(resbrutV2, simulate.p.value = TRUE)$p.value

#####
# Représentation graphique de la croissance des plants #
#####

mkjpeg <- TRUE
# Ouverture du périphérique graphique :
if(mkjpeg) jpeg("figs/courbes.jpg")

# Paramètres graphiques : 2 X 2 graphes, marge externe en
# haut et ajustement des marges internes :
par(mfrow = c(2, 2), oma = c(0, 0, 2, 0), mar = c(5, 4, 3, 1))

# Boucle sur les quatre types de graines :
for(type in all.types){
  # Colonnes concernées
  jtype <- which(nomenclature == type)
  # Que les plants germés :
  todo <- jtype[lentilles[ifin, jtype] >= seuilG]
  n <- length(todo)
  mycol <- hcl.colors(n, "Dark 2")

  # Définition de la fenêtre graphique :
  plot.new()
  # Temps en jours depuis le début de l'expérience
  x <- as.numeric(lentilles$date - lentilles$date[1])
  xlim <- range(x)
  # échelle commune en y pour tous les graphes :
  ylim <- range(lentilles[, -1])
  plot.window(xlim = xlim, ylim = ylim)
  title(main = paste("Type", type))
  axis(2, las = 1) ; title(ylab = "Hauteur [mm]")
  axis(1)
  title(xlab = "Temps [jours]") ; box()

  # Pour chaque lentille germée, tracer les points et les
  # courbes du modèle logistique :
  for(j in seq_len(n)){
    points(x, lentilles[, todo[j]], pch = j,
           col = mycol[j])
    y <- lentilles[, todo[j]]
  }
}

```

```

data <- as.data.frame(list(x = x, y = y))
# Estimation des paramètres :
resnls <- try(nls(y ~ SSlogis(x, Asym, xmid, scal), data = data),
             silent = TRUE)
# Si problème pour estimer les paramètres on passe au suivant
if(inherits(resnls, "try-error")) next
# Ajout du modèle estimé sur le graphique :
xx <- as.numeric(seq(min(x), max(x), length.out = 256))
lines(xx, predict(resnls, list(x = xx)), col = mycol[j])
}
if(length(todo) > 0){
  # Mettre deux colonnes si plus de 5 courbes
  ncol <- 1
  if(length(todo) > 5) ncol <- 2
  # Calculer l'ordre d'affichage des plants dans la légende
  # pour que les plus grands soient en haut :
  myo <- rev(order(unlist(lentilles[ifin, todo])))
  legend("topleft", inset = 0.02,
        legend = colnames(lentilles)[todo][myo],
        bg = grey(0.95), pch = myo, col = mycol[myo], cex = 0.75,
        ncol = ncol)
}
}

# Titre général :
title(main = "Croissance des plants de lentilles",
      outer = TRUE, cex.main = 1.5)
# Fermeture du périphérique graphique :
if(mkjpeg) dev.off()

#####
# Calcul de la table des paramètres du modèle logistique #
#####
# Les colonnes avec les données de croissance :
jcol <- which(nomenclature %in% all.types)
# Les colonnes des lentilles germées :
plants <- jcol[lentilles[ifin, jcol] >= seuilG]
np <- length(plants)
tabparam <- as.data.frame(matrix(NA, nrow = np, ncol = 3))
colnames(tabparam) <- c("Asym", "xmid", "scal")
rownames(tabparam) <- colnames(lentilles)[plants]
# Calcul des paramètres pour chaque plant
for(i in seq_len(np)){
  y <- lentilles[, plants[i]]
  data <- as.data.frame(list(x = x, y = y))
  # Estimation des paramètres :
  resnls <- try(nls(y ~ SSlogis(x, Asym, xmid, scal), data = data),
               silent = TRUE)
  # Si problème on passe au suivant
  if(inherits(resnls, "try-error")) next
  tabparam[i, ] <- coef(resnls)
}

# Ajout d'une colonne pour la condition environnementale (env)
# et d'une colonne pour la variété de lentilles (var)

tabparam$env <- factor(substr(rownames(tabparam), 1, 2),
                      levels = c("E1", "E2"))
tabparam$var <- factor(substr(rownames(tabparam), 3, 4),
                      levels = c("V1", "V2"))

#####
# Calcul de la table au format LaTeX #
#####

# On part de la table déjà calculée
tablatex <- tabparam

# La fonction print.xtable() du paquet xtable fait son possible pour
# protéger les caractères spéciaux de LaTeX, par exemple en remplaçant
# les $ par \$. Comme on veut des formules LaTeX dans le nom des
# colonnes on va neutraliser ce comportement en définissant une
# fonction qui ne fait rien et que l'on donnera pour l'argument
# sanitize.colnames.function de print.xtable()

```

```

pastouche <- function(x) return(x)

# On peut maintenant changer le nom des colonnes pour utiliser des
# formules LaTeX avec la précaution que l'oblique inverse \ doit
# elle-même être protégée par une oblique inverse :

colnames(tablatex)[1:3] <- c("$y_{\\infty} \\left[\\text{mm}\\right]$",
"$x_m \\left[\\text{j}\\right]$",
"$\\sigma \\left[\\text{j}^{-1}\\right]$" )

caption <- paste0("\\color{bleu}Les paramètres du modèle logistique au ", fin, ". ",
"Les valeurs manquantes signifient que les paramètres du modèle",
" ($y_{\\infty}$, $x_m$ et $\\sigma$) n'ont pas pu être estimées. ",
"La signification des paramètres est donnée dans la \\refs{deflogistique}. ",
"Les colonnes env et var précisent les conditions expérimentales ",
"et les variétés de lentilles, respectivement ",
"(voir la \\refs{methexp}).")

print(xtable(tablatex, caption = caption, label = "tabparam"),
file = "tabs/tabparam.tex",
sanitize.colnames.function = pastouche, size = "scriptsize")

#####
# Calcul des tailles finales par type #
#####

# Seuil d'exclusion des pousses tardives

seuilxm <- 10
tabparamutil <- tabparam
tabparamutil <- tabparamutil[!is.na(tabparamutil$xmid), ]
# On conserve les plants qui étaient déjà à mi-hauteur avant
# seuilxm jours, l'abscisse du point d'inflexion xmid doit donc
# être inférieure à seuilxm
tabparamutil <- tabparamutil[tabparamutil$xmid < seuilxm, ]
tabparamutil$fac <- as.factor(paste0(tabparamutil$env, tabparamutil$var))

# Calcul du tableau des taille finales
tabtail <- as.data.frame(matrix(NA, nrow = 4, ncol = 2))
colnames(tabtail) <- c("n", "moyenne")
for(i in seq_len(length(all.types))){
  rownames(tabtail)[i] <- all.types[i]
  qui <- which(tabparamutil$fac == all.types[i])
  tabtail[i, "n"] <- length(qui)
  tabtail[i, "moyenne"] <- mean(tabparamutil[qui, "Asym"])
}

# Représentation graphique
jpeg("figs/taille.jpg", width = 480, height = 320)
stripchart(Asym~fac, tabparamutil, las = 1, pch = 19,
xlab = "Taille finale [mm]")
dev.off()

# Calcul de la table LaTeX :

caption <- "Longueurs moyennes finales des plants de lentilles."

print(xtable(tabtail, caption = caption, label = "tabtail",
digits = 1),
file = "tabs/tabtail.tex")
# Variété V1
x <- subset(tabparamutil, var == "V1" & env == "E1")$Asym
y <- subset(tabparamutil, var == "V1" & env == "E2")$Asym
pvalwV1 <- wilcox.test(x, y)$p.value
# Variété V2
x <- subset(tabparamutil, var == "V2" & env == "E1")$Asym
y <- subset(tabparamutil, var == "V2" & env == "E2")$Asym
pvalwV2 <- wilcox.test(x, y)$p.value
msg <- character() ; Encoding(msg) <- "UTF-8"
if(knitr::current_input() == "BI03164L.Rmd"){
  msg <- "\\textbf{Attention, attention, attention} : le fichier \\mbox{\\texttt{BI03164L.Rmd}} n'a pas été renommé en \\mbox{"
} else {
  msg <- ""
}

```



```

}
save.image("data/mesdonnees.Rda")
# Pour inclure l'environnement R utilisé
toLatex(sessionInfo())

```

## 7.3 Code LaTeX utilisé

```

%
% C'est ici que sont définies les principales options pour LaTeX
%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Paquets LaTeX %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

\usepackage[french]{babel} % Pour un document en français
\usepackage{lettrine}      % Pour faire des lettrines
\usepackage{verbatim}     % Pour pouvoir inclure ce fichier tel quel
                           % dans le document final
\usepackage{xcolor} % Pour faire du texte en couleur

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Définitions de macros LaTeX %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Définition des couleurs utilisées

\definecolor{bleu}{rgb}{0.0,0,0.3}
\definecolor{rouge}{rgb}{0.3,0.0,0.0}
\definecolor{noir}{rgb}{0.0,0.0,0.0}

% Pour faire référence à la section trucmuche page machin, par
% exemple "section 1.2.3 page 18". Le seul argument est le
% nom du label associé à la section. Le caractère ~ représente
% une espace insécable.

\newcommand{\refs}[1]{section-\ref{#1} page-\pageref{#1}}

% Pour faire référence à la figure trucmuche page machin

\newcommand{\reff}[1]{figure-\ref{#1} page-\pageref{#1}}

% Pour faire référence à la table trucmuche page machin

\newcommand{\reft}[1]{table-\ref{#1} page-\pageref{#1}}

%
% Pour insérer une figure au format jpg dans le dossier figs.
% Le premier argument est le nom du fichier sans extension,
% le deuxième la taille horizontale de la figure, le troisième
% la légende de la figure. Un label du même nom que le fichier
% est inséré pour pouvoir faire facilement référence à la figure.
%

\newcommand{\myjpg}[3]{
  \begin{figure}
    \begin{center}
      \fbox{\begin{minipage}{#2\textwidth}
        \includegraphics[width=\textwidth]{figs/#1.jpg}
        \caption{\label{#1} #3}
      \end{minipage}}
    \end{center}
  \end{figure}
}

```