

**Introduction de chêne pubescent par semis *in situ*
en conditions forestières méditerranéennes.**

par Pierre Champroux
CEMAGREF 3275 Route de Cézanne
CS 40061
13182 AIX EN PROVENCE CEDEX 5.

Mémoire de diplôme d'études doctorales (D E D) soutenu le 12 septembre 1996
à la Faculté des Sciences et Techniques de St Jérôme à Marseille.

Analyses complémentaires le 22 mars 2007.

Cet article été publié dans le Bulletin de la Société Linnéenne de Provence.57, 2006 pp.21-26, sans les annexes.

Plan

I - Introduction : les données de la paléoécologie.

II- Le semis de Luminy.

1-Présentation

2-Résultats

- La levée voir : tableaux – loi binomiale

- La survie : plantules et potets.

3-Hypothèses sur la levée et la survie.

4-Conclusions découlant de ces hypothèses.

III - Conclusions générales

IV - Applications

V- Annexes : Tableaux – calculs – notations - graphes.

VI - Bibliographie sommaire.

I - Introduction

Le chêne pubescent occupe actuellement une place marginale en Basse Provence. Le but de ce travail est de montrer que ce chêne peut y être largement réintroduit. En effet cette situation ne résulte pas de ses exigences écologiques, mais de l'action exercée par l'Homme sur l'environnement depuis le néolithique. Cette assertion est appuyée sur les travaux de paléoécologie : palynologie, pédo-anthracologie qui permettent de déduire que le climat n'a pas varié pendant cette période. D'autre part, l'intérêt de cette espèce réside dans le fait qu'en tant que feuillu caducifolié sa formation forestière résiste mieux aux incendies que les autres formations végétales. Cette considération pourrait être mise en évidence, dans un premier temps, par l'analyse d'images satellitaires sur un même site, avant puis après incendies. Les vérifications de terrain permettraient de constater que les formations pures de feuillus ont mieux résisté. Cette observation serait répétée sur tous les sites qui ont brûlé durant ces trente dernières années, en se servant des images satellitaires disponibles et utilisables depuis les premières missions spatiales. Ceci consisterait en une première approche statistique, qui pourrait être complétée ultérieurement par d'autres données (météorologie, fichier Prométhée...). Certains végétaux (les résineux et les espèces aromatiques) contiennent dans leurs tissus des composés organiques volatils qui s'enflamment très facilement à l'air libre. Par ailleurs, les espèces sclérophylles (chêne vert, chêne kermès, filaire, nerprun alaterne..) ont des feuilles riches en carbone (le rapport carbone sur azote est élevé) ce qui favorise la combustion. Ces phénomènes sont mal connus car peu ou non étudiés. Enfin, il ne faut pas oublier qu'en tant que feuillu il rejette de souche après avoir brûlé. Sa formation forestière dense (arbres de plus de 3m de haut) élimine les végétaux héliophiles combustibles, par son couvert épais.

L'intérêt serait d'installer des îlots de feuillus caducifoliés, de quelques centaines d'ares, judicieusement répartis sur l'ensemble d'un massif forestier, ce qui constituerait une application de la théorie de la percolation. (Nahmias et *al*s 1989).

Sur la base de ces considérations, il a été entrepris des essais d'introduction de chêne pubescent dans le massif du Puget près de Marseille. L'intérêt de ces essais est de deux ordres : préciser les endroits où le semis est possible, et créer un outil mathématique d'interprétation des résultats en vue d'expériences éventuelles plus fondamentales en biologie végétale.

D'autres essais ont été réalisés ultérieurement, leurs résultats seront exposés séparément.

L'intérêt du semis est multiple : économique, il est moins onéreux que la plantation, d'une part et il permet le développement du système racinaire de la plantule *in situ* d'autre part. Par contre, il se heurte à un problème majeur le prélèvement exercé par les micromammifères (mulots, écureuils) et par les oiseaux (geais, pigeons ramiers..). Aucun répulsif n'a pu être trouvé à ce jour. La protection

mécanique (manchons, grillages) s'avère être la seule efficace. Cependant, les consommateurs n'ont pas qu'un rôle négatif. Ils réalisent des caches pour faire des provisions, et en oublient une partie. Ce qui donnera de futurs chênes. On peut tirer profit de ce fait en semant des glands à la volée. Ce qui a été fait. Une canne à semer existe et fonctionne très bien. Mais le prélèvement en limite l'intérêt et la portée en absence de répulsifs.

II-Le semis du Mont Puget (Luminy).

1-Présentation

Cette expérimentation a été mise en place en 1981 à Luminy, au pied du Mont Puget, près de Marseille dans les Bouches du Rhône, à la demande de l'ONF par le CTGREF, devenu CEMAGREF. Le semis a été réalisé dans des potets piochés, sur des raies de sous- solage, dans une plantation ancienne de pin d'Eldarica. Pour chaque potet il a été mis trois glands, protégés par un manchon, pincé dans sa partie supérieure, à maille fine, en métal corrodable.

2-Résultats

- La levée

Un effectif de 745 potets a été répertorié .Le comptage a été effectué par séquence de 10 potets successifs sur une même ligne de sous-solage. Ces lignes parallèles à la pente sont espacées de 3 à 4 mètres, les potets étant espacés de 3 mètres environ sur la ligne. Chaque potet est repéré sur un plan afin d'être bien individualisé et identifié ultérieurement. Au printemps suivant la plantation, on a compté pour chaque potet le nombre de plantules vivantes (3, 2, 1,0). On obtient ainsi une typologie des potets pour la levée. Un potet présentant au moins une plantule vivante est dit « occupé ». Pour chaque séquence de 10 potets on a un taux d'occupation qui varie de 0 à 100% par pas de 10%.On a donc 10 classes avec leurs effectifs correspondants. Ces 10 classes ont été regroupées en 3 classes pour obtenir des effectifs comparables. On a finalement : 0-10% ; 10-40% ; 40-80%.Il n'y a pas de classe supérieure à 80%.Chacune de ces 3 classes a un taux d'occupation qui est précis.Si on considère la répartition des glands levés ou non levés dans la classe 40-80%, on voit que celle-ci se fait conformément à la loi binomiale (test du khi-deux),ce qui signifie que la levée n'est conditionnée que par la seule faculté germinative des semences d'une part et que le taux levée y est supérieur aux 2 autres d'autre part.. Cette loi permet de mettre en relation le taux de levée (nombre

total de glands levés divisé par le nombre total de glands semés) avec le taux d'occupation des potets (nombre de potets occupés divisé par le nombre de potets semés).

- La survie

Elle est la plus élevée pour la classe qui présente le taux de levé le plus fort (40-80%) Des vérifications de terrain permettent de constater que cette classe correspond précisément à la zone où l'argelas et le chêne kermès sont denses et bien venants. Nous sommes en présence d'une végétation dite en peau de léopard qui présente une couverture discontinue, non uniforme constituée de plages (où des tapis) de chêne kermès ou d'argelas entrecoupées d'une végétation essentiellement composée de graminées (brachypode rameux notamment).

Comme les potets ont été repérés à la levée, il est donc possible de suivre leur évolution au cours du temps. On obtient ainsi un deuxième type de potet dit « dynamique » que l'on note : $3 \rightarrow 3$; $3 \rightarrow 2$; $3 \rightarrow 1$; $3 \rightarrow 0$...etc.- Ce qui signifie que les potets qui présentaient 3 plantules vivantes à la levée peuvent en présenter ou 3 ou 2 ou 1 ou aucune à la survie. Il en est de même pour les potets 2 ou 1 à la levée. On a ainsi 10 types dynamiques. Les tableaux permettent deux constatations : un effet de compétition entre les plantules d'un même potet d'une part, et d'autre part ce que l'on peut interpréter comme une crise de l'isolement à savoir que la mortalité ne se fait pas au hasard (n'obéit pas à la loi binomiale) .En effet les effectifs (en potets) des transitions $3 \rightarrow 0$ et $2 \rightarrow 0$ sont beaucoup plus élevés qu'escomptés alors qu'ils sont beaucoup plus faibles pour les transitions $3 \rightarrow 1$ et $2 \rightarrow 1$, et ceci d'une manière très significative (test du khi-deux). Deux autres transitions appellent les remarques suivantes les effectifs: $3 \rightarrow 3$ et $2 \rightarrow 2$ sont légèrement excédentaires par rapport à ceux donnés par le calcul (loi binomiale) .Ces résultats sont valables pour les 3 classes.

On appelle « potet disparu » un potet qui présentant au moins une plantule vivante (« potet occupé ») n'en possède plus aucune ultérieurement. Bien que la mortalité en plantule soit forte, le taux d'occupation des potets reste élevé en raison du grand nombre de glands semés. En effet, en ne semant qu'un gland par potet l'absence de levée d'un seul gland, ou la mort d'une seule plantule entraîne la disparition du potet. Dans le mémoire (D E D), on montre que 3 glands par potet est un optimum.

Finalement, le taux de survie se définit par le rapport suivant : nombre de potets présentant au moins une plantule vivante à la survie divisé par le nombre de potets présentant au moins une plantule vivante à la levée.

3-Hypothèses sur la relation entre le nombre de glands semés par potet et la survie

On a comptabilisé la survie à partir des types de potet de la levée. Ainsi on a considéré séparément l'évolution des potets qui ont levé ou 3 ou 2 ou 1 et obtenu la survie avec 3 glands semés par potet. Puis à partir de l'évolution des potets qui ont levé à la fois 2 et 1. (2-→2 ; 2-→1 ; 2-→0 1-→1 ; 1-→0.) , on calcule la survie comme si on avait semé 2 glands par potet. Il en est de même pour les potets qui ont levé 1, notés : 1-→1 ; 1-→0 pour lesquels on calcule la survie comme si on avait semé 1 gland par potet .Pour chacune de ces opérations, on considère que le taux de levée observé (pour cette zone) est une propriété intrinsèque de la population de glands semés En opérant ainsi on fait l'hypothèse que la survie des plantules est indépendante du nombre de gland semés par potet. Cette hypothèse pourrait être vérifiée en semant dans une série de potets, 3 glands par potet , dans une deuxième, 2 glands par potet et enfin dans une troisième 1 gland par potet. En comparant les 3 survies on pourrait tirer des conclusions quant à l'influence du nombre de gland par potet sur la survie.

4-Conclusions découlant de ces hypothèses

On applique la loi binomiale avec 2 glands par potet afin de calculer la répartition des glands levés ou non levés dans l'ensemble des potets Ce qui permet de mettre en relation le taux de levée et le taux d'occupation à la levée avec 2 glands (courbe algébrique). En ce qui concerne le cas de 1 gland par potet, il n'y a pas de problème, une seule répartition est possible : celle observée. On généralise le taux de survie observé pour une valeur particulière de taux de levée (avec 2 glands,) à l'ensemble des valeurs possible de ce dernier. On multiplie la courbe obtenue par ce taux de survie. On obtient ainsi le taux d'occupation finale correspondant à 2 glands par potet.(pour l'ensemble des taux de levée possible).

Par ailleurs, on s'aperçoit que les taux de survie observés (avec 3 ,2 ou 1 glands par potet) pour la valeur observée du taux de levée ne sont pas très éloignés entre eux bien que leur différence soit significative, On note cependant que le taux de survie le plus élevé est obtenu en semant 2 glands par potet .En fin de compte, pour ce qui concerne le taux d'occupation finale (taux d'occupation à la survie) la courbe montre que mettre 3 glands par potet est un léger avantage par rapport à 2 notamment pour les taux de levée inférieur à 76.10%, car il y a compensation entre la levée et la survie et un net avantage par rapport à 1,

III-- Conclusions générales

Il s'agit de vérifier soit *in situ*, soit en serre ou en phytotron que le comportement des graines (en l'occurrence des glands), puis des plantules est reproductible à savoir : levée conforme à la loi binomiale dans un environnement favorable, survie des plantules sous la dépendance de la compétition intra potet et effet isolement dans un potet, On sait d'ores et déjà que l'on doit réaliser le semis avec 3 glands par potet dans la végétation arbustive.

. Ces vérifications peuvent permettre d'utiliser la formalisation mathématique développée dans le D E D. Par exemple: savoir si certaines configurations (pourcentage de potets par type) sont plus fréquentes.

Cette formalisation présente donc un intérêt heuristique mais aussi un aspect didactique.

IV-Applications

Des essais ont été réalisés ultérieurement au Tholonet. Il s'agissait de potets piochés avec 3 glands dans chaque, protégé par des grillages en métal corrodable, posé à plat sur les glands. Ils ont permis de confirmer les premières conclusions en ce qui concerne la survie. Les seules plantules qui aient survécues se trouvaient dans l'argelas ou le chêne kermès.

Le semis de chêne blanc a été largement utilisé notamment par une association : l'ARPCV (association pour le reboisement et la protection du Cengle - Ste Victoire) en mélange dans des plantations de frêne à fleurs, sorbiers, érables, sur des communes du bassin de l'Arc (Bouches du Rhône). La technique de mise en place a consisté en la pose d'abris-serre (type Akiplant) à l'intérieur desquels on a jeté 3 glands qui ont été recouverts de terreau. Les résultats ne sont pas comptabilisés (pour le semis de chêne) car les glands n'ont pas été comptés, mais des petits chênes sont bien présents dans les plantations.

L'ONF a effectué des expérimentations de semis de chêne blanc au Plan d'Aups dans le Var (maison forestière des Béguines).

Par ailleurs des semis à la volée ont été réalisés, toujours au Tholonet, dans du chêne kermès sous pin d'Alep en situation fraîche (présence de troène) sur une surface d'environ 20mx10m Les premiers résultats sont encourageants : une vingtaine de plantules ont été dénombrées après avoir semé 100 glands dans cet endroit, soit une densité moyenne de 1 plantules par mètre carré. Dans des stations plus sèches, on a compté 5 plantules pour 100 glands semés. Ces observations ont été réalisées courant 2005.

Au printemps 2006, j'ai constaté la présence de nombreuses plantules de chênes blancs sur des talus sur lesquels j'avais réalisé des semis de glands à la volée, quelques années

auparavant, dans l'intention de les préserver d'éventuels débroussaillages car ces talus étaient couverts de chênes kermès et autres espèces végétales. Surpris par ce résultat j'ai pensé que les mulots ne fréquentaient pas les lieux pentus. Je m'en suis donc enquis auprès de mammologues et j'en ai obtenu confirmation auprès de Monsieur Roger Fons, professeur en retraite de l'Université de Paris VI bien qu'il n'y ait aucune publication sur le sujet. Il n'a pu m'indiquer de limite de pente pour laquelle le phénomène avait été observé. Les pentes que j'ai mesuré sont de 80 et 50%. Par contre Messieurs Gilles Cheylan et Orsini P conservateurs respectivement des muséums d'histoire naturelle d'Aix en Provence et Toulon, n'ont ni confirmer ni infirmer ces faits. Nous ne pouvons que proposer de procéder à des vérifications et ainsi déterminer le seuil de pente que je pense être de l'ordre de 30%. Nos sommes en présence d'un cas de sérendipité.

A l'automne 2005, j'ai mis en place un essai de semis dans du chêne kermès à l'aide de la canne à semer. J'ai protégé les glands avec de la toile métallique corrodable à maille fine, celle qui avait été utilisée sous le nom de grillage à plat. La nouveauté consiste dans le fait de rouler le grillage (dimensions 10cm/10cm) sur un tube de diamètre approprié pour constituer un cylindre dans lequel 3 glands sont introduits, puis les 2 extrémités fermées. Ce cylindre passe dans le tube intérieur de la canne à semer. On obtient ainsi une protection mécanique. Ce printemps 2006 très sec n'a pas permis de voir les résultats. Nous devons donc attendre ou renouveler l'opération.

Cet automne 2005, le CEMAGREF a mis en place des essais de semis avec la même protection à Barbentane (B. du Rhône)..

Le semis protégé par le grillage à plat réalisé en 1982 par le CTGREF (devenu CEMAGREF) au Trou du Rat (Luberon) a donné de bons résultats malgré qu'ils aient subi malencontreusement le passage du feu.

IV-Annexes (tableaux-calculs-notations-graphes)

Tableau n° 1

nombre de plantules vivantes par potet	SITUATION A LA LEVEE-Effectifs											
	Potets				% par rapport au		Plantules				% par rapport au	
	0-10	10-40	40-80	T	total semé	total levé	0-10	10-40	40-80	T	total semé	total levé
3	38	61	30	129	17,30	20,2	114	183	90	387,0	17,3	32,5
2	103	126	67	296	39,70	46,5	206	252	134	592,0	26,5	49,7
1	77	87	48	212	28,50	33,3	77	87	48	212,0	9,5	17,8
0	56	42	10	108	14,50	17,0	168	126	30	324,0	14,5	27,2
total glands levés ou potets occupés	218	274	145	637	85,50	100,0	397	522	272	1191	53,3	100,0
total glands semés ou potets occupés	274	316	155	745	100,0	-	822	948	465	2235	100	-
% levés ou occupés	79,6	86,7	93,5	85,5	-	-	48,3	55,0	58,5	53,3	-	-

Tableaux no 2

Comparaison entre les effectifs observés et des effectifs calculés à la levée

Type de potet	Classe 0.10 x = 0,4829		Classe 10.40 x = 0,5506		Classe 40.80 x = 0,5849		Totalité x = 0,5328	
	Observés	Calculés	Observés	Calculés	Observés	Calculés	Observés	Calculés
3	38	30,85	61	52,75	30	31,01	129	112,68
2	103	99,12	126	129,16	67	66,03	296	296,42
1	77	106,14	87	105,42	48	46,86	212	259,92
0	56	37,89	42	28,68	10	11,09	108	75,97
T	274	274,00	316	316,01	155	154,99	745	744,99

Calculs

Application de la loi binomiale à la levée.

.N = proportion de potets présentant k plantules vivantes (ou taux d'occupation des potets) :

$$N = C_n^k (1-p)^{n-k} \quad \text{avec}$$

$n=3$ (nombre de glands semés par potet) $p = x$; k = nombre de plantules vivantes par potet.

x = nombre total de plantules vivantes / nombre total de glands semés.

Si le pourcentage de levée est x , alors la probabilité de lever pour un gland pris au hasard est x , et la probabilité de ne pas lever est $(1-x)$.

La probabilité pour un potet d'avoir :

-3 plantules est de: x^3

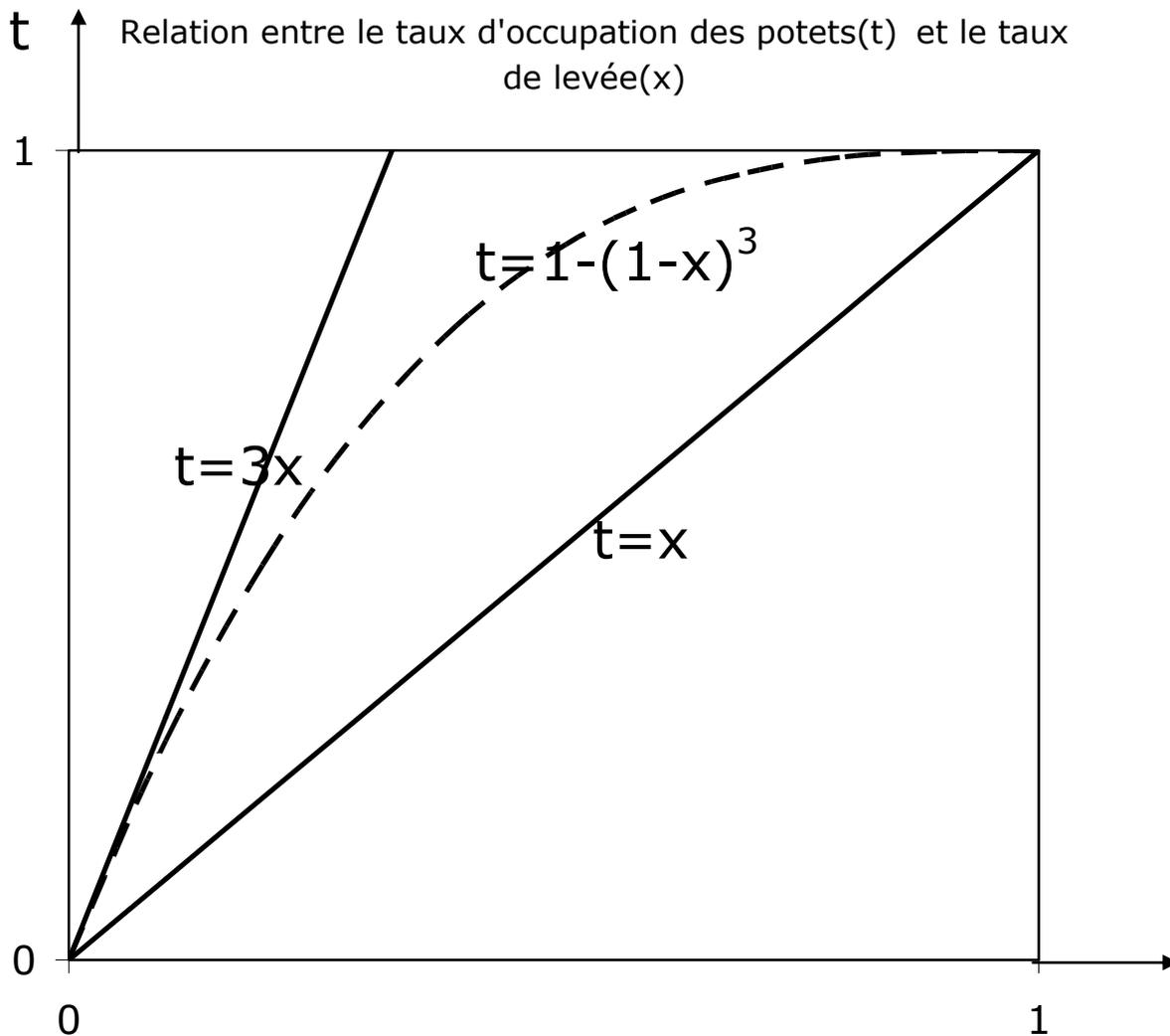
-2 plantules : $3x^2(1-x)$

-1 plantule : $3x(1-x)^2$

-Aucune : $(1-x)^3$.

La somme des probabilités pour que l'on ait au moins une plantule vivante est :

$$1-(1-x)^3$$



On applique ce calcul au tableau de la levée pour les 3 zones et on compare les effectifs observés avec les effectifs calculés à l'aide du test du χ^2

Pour la zone 0-80 on a :

$x = 0,5849$ et $1 - x = 0,6151$ Potets semés = 155.

3 plantules $155 \times 0,5849^3 = 112,68$

2 plantules $155 \times 3 \times 0,5328^2 \times 0,6151 = 66,03$

1 plantule $155 \times 3 \times 0,5849 \times 0,6151^2 = 46,86$

0 plantule $155 \times 0,6151^2 = 11,09$

$\chi^2 = \sum_{k=0}^{k=3} \frac{(\text{effectif observé} - \text{effectif calculé})^2}{\text{effectif calculé}}$ (Ceci pour chacun des 4 types de potet puis sommation).

Les tables donnent la probabilité que la différence observée soit le résultat du hasard avec un degré de liberté (d.d.l.) égal à $4 - 1 = 3$ (nombre de termes dans le calcul du $\chi^2 - 1$).

Voir tableaux n° 1 et 2 : levée.

Résultats du test :

Pour la classe 0-10 $\chi^2=18,47$ test significatif au seuil de 1% : les 2 distributions sont différentes.

10-40 $\chi^2=10,76$ test significatif au seuil de 2% : les 2 distributions sont différentes.

40-80 $\chi^2=0,1797$ test non significatif : les 2 distributions ne sont pas différentes, la levée obéit à la loi binomiale, ce qui signifie qu'elle n'est conditionnée que par la faculté germinative des semences.

On a respectivement 1 chance sur 100 et 2 chances sur 100 pour que les situations des 2 premières classes soient dues au hasard.

Voir tableaux n° 3 : survie.

Comparaison entre le premier et le troisième comptage

Potets et plantules (3 zones de survie)

	Potets				Plantules			
zone % de survie	0-10	10-40	40-80	T	0-10	10-40	40-80	T
EFFECTIFS								
glands ou potets semés	274	316	155	745	822	948	465	2235
total glands levés ou potets occupés	218	274	145	637	397	522	272	1191
total plantules vivantes ou potets occupés	7	70	89	166	11	99	128	238
POURCENTAGES								
levés/ semés	79,56	86,71	93,55	85,5	48,29	55,06	58,49	53,28
occupés/ levés	3,21	25,54	61,37	26,05	2,77	18,96	47,07	19,98
occupés/ semés	2,55	22,15	57,15	22,28	1,33	10,44	27,52	10,64

Application de la loi binomiale à la survie

De la même manière que nous l'avons fait pour la levée, nous allons voir comment la survie se répartit en comparant la distribution observée avec la distribution théorique qui est calculée en appliquant la loi binomiale. (Ce qui veut dire que la survie obéit au hasard).

Les calculs suivants ne concernent que la zone 40-80.

On va tout d'abord calculer les taux de survie pour les PLANTULES par type de potet à la levée.

Dans les 30 potets qui ont levés à 3 plantules on a 34 plantules survivantes soit un taux de survie de $34 / 30 \times 3 = 0,3777$.

Dans les 67 potets qui ont levés 2 on a 66 plantules survivantes soit

$$66 / 67 \times 2 = 0,4925$$

Pour les 48 potets qui ont levés 1 on a 28 plantules survivantes soit

$$28 / 48 = 0,5833.$$

Ces résultats mettent bien en évidence l'effet compétition à l'intérieur d'un même potet.

Pour les potets qui ont levés 3, les effectifs théoriques sont respectivement :

$$3 \rightarrow 3 \quad 30 \times 0,3777^3 = 1,61$$

$$3 \rightarrow 2 \quad 30 \times 3 \times 0,3777^2 \times (1 - 0,3777) = 7,98$$

$$3 \rightarrow 1 \quad 30 \times 3 \times 0,3777 \times (1 - 0,3777)^2 = 13,16$$

$$3 \rightarrow 0 \quad 30 \times (1 - 0,3777)^3 = 7,22.$$

Pour les potets qui ont levés à 2 plantules, le calcul est le suivant :

$$2 \rightarrow 2 \quad x^2$$

$$2 \rightarrow 1 \quad 2 \times (x) \times (1 - x)$$

$$2 \rightarrow 0 \quad (1 - x)^2 \quad \text{soit}$$

$$2 \rightarrow 2 \quad 67 \times (0,4925)^2 = 16,25$$

$$2 \rightarrow 1 \quad 67 \times 2 \times 0,4925 \times (1 - 0,4925) = 33,49$$

$$2 \rightarrow 0 \quad 67 \times (1 - 0,4925)^2 = 17,25.$$

Pour les potets qui ont levés 1, une seule distribution est possible : celle observée.

$$1 \rightarrow 1 \quad x$$

$$1 \rightarrow 0 \quad (1 - x).$$

On peut donc comparer les effectifs observés avec les effectifs calculés. à l'aide du tableau ci-après

Voir tableaux n° 4 : dynamique entre le 1^{er} et le 3^{ième} comptage.

Tableaux no 4

Dynamique entre le premier et le troisième comptage - effectifs potets

(pour les 3 zones)

	POTETS				PLANTULES			
	0-10	10-40	40-80	Total	0-10	10-40	40-80	Total
3---->3	0	5	4	9	0	15	12	27
3---->2	1	7	8	16	2	14	16	32
3---->1	0	10	6	16	0	10	6	16
3---->0	37	39	12	88	111	117	36	264
Total 3	38	61	30	129	113	156	70	329
2--->2	3	12	23	38	6	24	46	76
2--->1	1	19	20	40	1	19	20	40
2--->0	99	95	24	218	198	190	48	436
Total 2	103	126	67	296	205	231	114	552
1--->1	2	17	28	47	2	17	28	47
1--->0	75	70	20	165	75	70	20	165
Total 1	77	87	48	212	77	87	48	212
non levés 0--->0	56	42	10	108	168	126	30	324
Total levés	218	274	145	637	395	522	191	1191
Total semés	274	316	155	745	822	948	465	2235

On fait les mêmes calculs pour les 2 autres classes : **0-10 et 10-40**.

Voir tableaux n° 5 : évolution des potets entre la survie et la levée (zone 40-80).

Tableaux no 5
Evolution des potets entre la levée et la survie de la zone 40-80

	Potets effectifs observés	Potets effectifs calculés	Potets différence: observés -calculés	Potets différence divisée par effectif du type à la levée	Plantules mortes ou vivantes	Rapport: effectifs plantules sur effectifs potets
3--->3	4	1,61	2,39	0,08	12	3
3--->2	8	7,98	0,02	0,00	16	2
3--->1	6	13,16	-7,16	-0,24	6	1
Total occupés à la survie	18	22,75			34	1,8889
3--->0	12	7,22	4,78	0,16	36	3
total 3 à la levée	30	29,99	0,2013	0,00	90	3
2--->2	23	16,25	6,75	0,10	46	2
2--->1	20	33,49	-13,49	-0,20	20	1
Total occupés à la survie	43	49,74			66	1,5349
2--->0	24	17,25	6,75	0,10	48	2
total 2 à la levée	67	66,99	0,01	0,00	134	2
1--->1	28	-	-	-	28	1
1--->0	20	-	-	-	20	1
total 1	48	-	-	-	48	1

Calcul de la survie en potets :

$$18+43+28 / 30+67+48 = 89 / 145 = 0,6137$$

Calcul de la survie en plantules :

$$34+66+28 / 90+134+48 = 128 / 272 = 0,4705.$$

Définitions

-> t_1 (taux d'occupation à la levée) = nombre de potets avec au moins une plantules / nombre de potets semés

-> x_1 (taux de levée) = nombre total de plantules à la levée / nombre de glands semés.

La connaissance de x_1 est nécessaire pour calculer t_1 à l'aide de la loi binomiale.

-> t_3 (taux d'occupation à la survie) = nombre de potets présentant 1 plantule à la survie / nombre de potets semés.

-> t_2 = potets occupés à la survie / potets occupés à la levée

t_3 / t_1 = potets à la survie / potets semés \times potets semés / potets levés =

t_3 / t_1 = potets à la survie / potets levés = k

Nombre de potets occupés à la survie = $k \times$ nombre de potets occupés à la levée.

Le nombre de potets occupés à la levée obéit à la loi binomiale, on a donc

:

- t_2 (observé) = $k \times t_1$ (à la levée)

On calcule la valeur de k pour les trois types de potets occupés de la levée (3, 2, et 1. Zéro étant exclus).

Pour les 3 $18 = k_3 \times 30 \rightarrow k_3 = 0,6000$

Pour les 2 $43 = k_2 \times 67 \rightarrow k_2 = 0,6417$

Pour les 1 $28 = k_1 \times 48 \rightarrow k_1 = 0,5888$

Avec 3 glands semés par potet on peut également calculer k_3 de la manière suivante :

(Potets 3+potets2+potets1) à la survie / (potets3+potets2+potets1) à la levée soit

$k_3 = (18+43+28) / (30+67+48) = 89 / 145 = 0,6137$

Ces 4 proportions sont très voisines .Un test de comparaison de proportions permettrait de savoir si elles sont significativement différentes, mais elles sont trop proches pour que cela soit nécessaire.

Cependant, il est intéressant de noter que le taux de survie le plus élevé s'observe pour les potets qui ont levés 2. (0,6417) et le plus faible pour ceux qui ont levés 1 (0,5888), les 3 étant intermédiaires (0,6137 ou 0,6000).

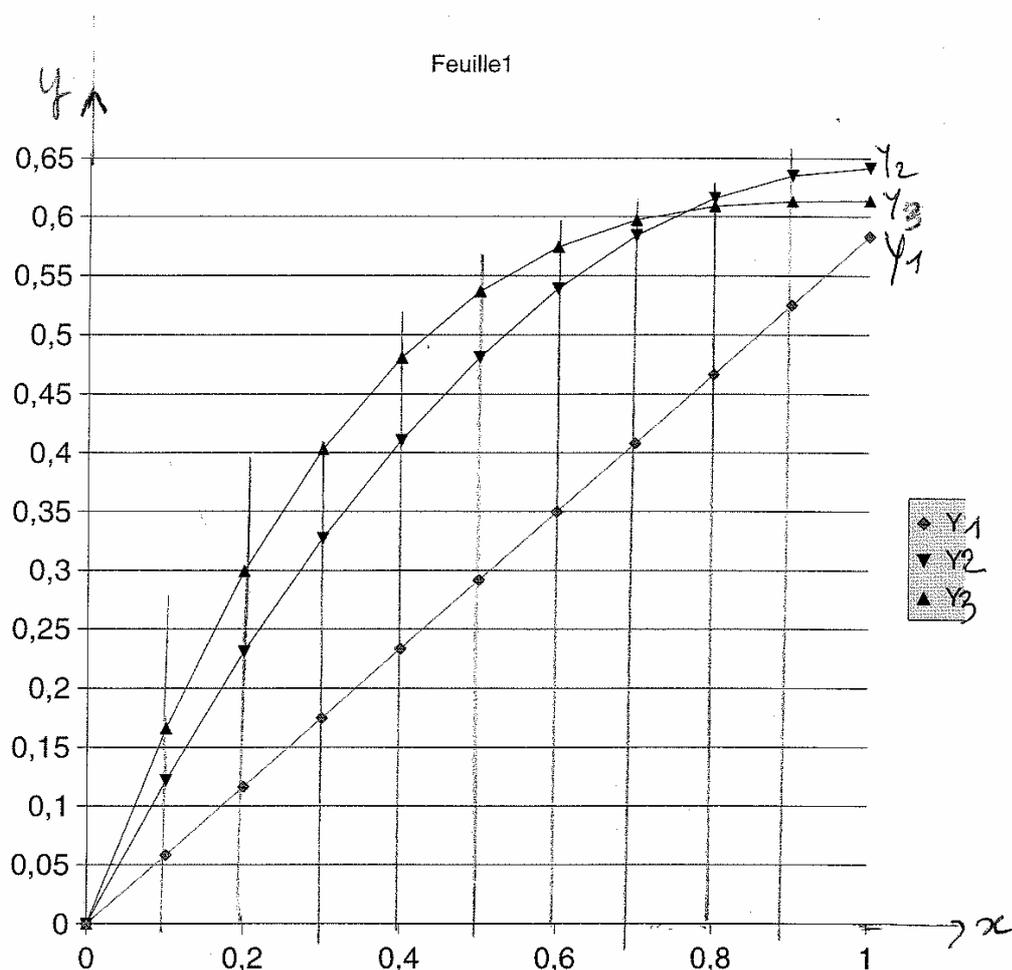
On observe pour la classe 40-80 avec un taux de levée de 0,4705, un taux d'occupation à la levée de 0,9355 et $k = 0,6137$, on a bien taux d'occupation à la survie : $0,5741 = 0,9355 \times 0,6137$.

Si on sème 2 glands par potet en appliquant la loi binomiale à la levée avec $x = 0,4705$, on a $t_1 = 1 - (1 - x)^2 = 0,7196$ et $t_2 = t_1 \times k_2 = 0,7196 \times 0,6417 = 0,4617$.

Et pour un gland par potet on a $t_1 = x_1$ et $t_2 = t_1 \times k_1$ soit $0,4705 \times 0,5888 = 0,2770$.

Nota : il conviendrait de vérifier expérimentalement que le taux de levée est le même avec 3,2 ou 1 gland par potet.

Ces résultats font apparaître le net avantage de mettre 3 glands par potet pour ce taux de levée (0,4705) car le taux d'occupation à la levée est très élevé, avec des taux de survie (en potets) proches. En fait on peut étendre ces résultats à l'ensemble des taux de levée, de 0 à 1.



$Y_3 = [1-(1-x)^3] \cdot 0,6137$	3 glands par potet
$Y_2 = [1-(1-x)^2] \cdot 0,6417$	2 » « «
$Y_1 = x \cdot 0,5833$	1 « « «

Formalisation

Il nous semble intéressant d'exposer la formalisation, qui a l'avantage de présenter les résultats d'une façon synthétique à l'aide de graphes en utilisant la loi binomiale qui s'exprime sous forme d'équations algébriques.

Espace de définition de t (taux d'occupation à un comptage quelconque) en fonction de x (taux de levée ou de survie des plantules).

Cette relation implique la connaissance du nombre de potets semés. En effet, plusieurs années après la mise en place d'un essai, ce nombre peut être oublié, et de plus il n'est pas toujours possible de retrouver les potets vides sur le terrain. C'est la raison pour laquelle cette relation est essentiellement utilisable à la levée.

Cette relation s'établit de la manière suivante : le nombre de glands semés est égale à 3 fois le nombre de potets semés. $t = \text{potets occupés} / \text{potets semés}$

$$x = \text{plantules} / \text{glands semés} = \text{plantules} / 3 \times \text{potets semés}$$

$$\text{potets semés} = \text{plantules} / 3x$$

$$t = \text{potets occupés} \times (3x / \text{plantules}).$$

On introduit $q = \text{nombre total de plantules vivantes} / \text{nombre total de potets occupés}$ soit le nombre moyen de plantules par potet.

Finalement on a la relation $t = 3x / q$ avec x et t compris entre 0 et 1 et q compris entre 1 et 3.

Pour $q = 3$; $t = x$.

Pour $q = 1$; $t = 3x$.

La relation entre x et t : $t = f(x)$ est représentée sur un graphe par un faisceau de droites de pente $3/q$ passant par l'origine, compris entre les droites $t = x$ et $t = 3x$.

Sur ce graphe on peut représenter toutes les situations observées soit à la levée soit à la survie si on connaît le nombre de potets semés ; il va de soi que l'on met 3 glands par potet.

Cependant, il est important de noter que pour que cette représentation soit valide, il faut que x et t concernent un même comptage. On mettra ultérieurement en relation x à la levée (premier comptage) et t à la survie (comptage ultérieur) en multipliant la loi binomiale (levée) par le taux de survie

Nous présentons ci-après le graphe $t = f(x)$ de l'ensemble des valeurs possibles des couples t et x , qui est un triangle à l'intérieur duquel on trace l'équation de la loi binomiale : $t = 1 - (1-x)^3$.

Répartition des plantules dans les potets occupés.

Pour des raisons de commodités, on ne s'intéresse à la survie qu'aux seuls potets occupés. Ce qui va se traduire par un certain nombre de relations. Tout d'abord, la somme des potets occupés s'exprime de la manière suivante:

$k_1 + k_2 + k_3 = 1$ avec k_1, k_2, k_3 , les proportions respectives des potets 1, 2 et 3.

Puis, on considère le rapport : effectifs plantules / effectifs potets occupés. = q

.Effectif total plantules = plantules des potets1 + plantules des potets2 + plantules des potets3 et:

$q = 1 \times (\text{potet 1}) + 2 \times (\text{potets 2}) + 3 \times (\text{potets 3}) / \text{potets1} + \text{potets2} + \text{potets3} = k_1 + 2k_2 + 3k_3$.

Ces 2 relations $k_3 + k_2 + k_1 = 1$ et $3k_3 + 2k_2 + k_1 = q$ vont permettre de connaître le nombre d'observations possibles (obs.) pour une valeur de q et un nombre de potets donnés et ainsi de faire des statistiques. On pourra voir si certaines observations sont plus fréquentes que d'autres en multipliant les expériences.

Si l'effectif des potets occupés est N , le nombre de plantules est compris entre N et $3N$. Si on appelle n le nombre de plantules supérieur à N , on a $q = (N + n) / N = 1 + n / N$ et l'unité de variation pour les potets comme pour les plantules est $1 / N$. Si on écrit $q = 1 + x / 100 = 1 + n / N$.
On a $n / N = x / 100$.

Il convient de distinguer 3 cas : q compris entre 1 et 2 et q compris entre 2 et 3. et $q = 2$.

→ **q compris entre 2 et 3 :**

De ces relations, on tire $k_2 = n_2 / N = 3 - q - 2k_1$. En effet k_2 étant la classe médiane, il est préférable de la choisir. On peut ainsi connaître la valeur maximale de k_2 pour $k_1 = 0$, soit $n_2 / N = 3 - q$ ---- $n_2 = N(3 - q)$.

-> **q compris entre 1 et 2 :**

$k_2 = q - 2k_3 - 1$. Pour $k_3 = 0$, $k_2 = q - 1$.

et pour $k_3 = 0$, k_1 indéterminé, $k_2 = n_2 / N = q - 1 = x / 100$ -et $n_2 = Nx / 100 = N(q - 1)$.

-> **$q = 2$ $n_2 = N$ et $k_2 = 1$**

Remarque importante :

Pour un nombre donné de plantules donc une valeur de q , on a 2 situations possibles. En effet, un potet 3 et un potet 1 sont équivalents à deux potets 2. Ceci est généralisable à l'ensemble des potets lorsque le nombre de plantules est pair.

$$2k_2 = k_1 + k_3$$

Le nombre de situations possibles pour N potets occupés, découle de la relation :

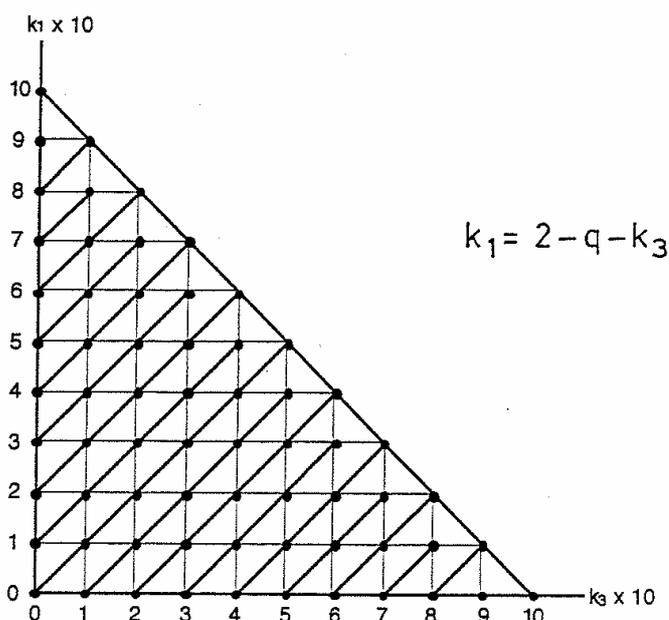
$$k_1 + k_2 + k_3 = 1 \text{ et il s'exprime par l'équation : } (N+1)(N+2) / 2.$$

Les situations observées sont groupées par couples de valeurs de q , composés d'une valeur paire et de la valeur impaire qui lui succède immédiatement.

Les nombres de possibilités (obs.) sont finalement (nombre maximale de potets 2) :

- Pour q compris entre 1 et 2 = $n_2 = N(q-1)/2 + 1$ si n_2 pair
 $n_2 = N(q-1)-1/2 + 1$ si n_2 impair
- Pour q compris entre 2 et 3 = $n_2 = N(3-q)/2 + 1$ si n_2 pair
 $= [N(3-q) - 1/2] + 1$ si n_2 impair
- Pour $q = 2$ $n_2 = N/2 + 1$ si N pair
 $n_2 = (N-1)/2 + 1$ si N impair

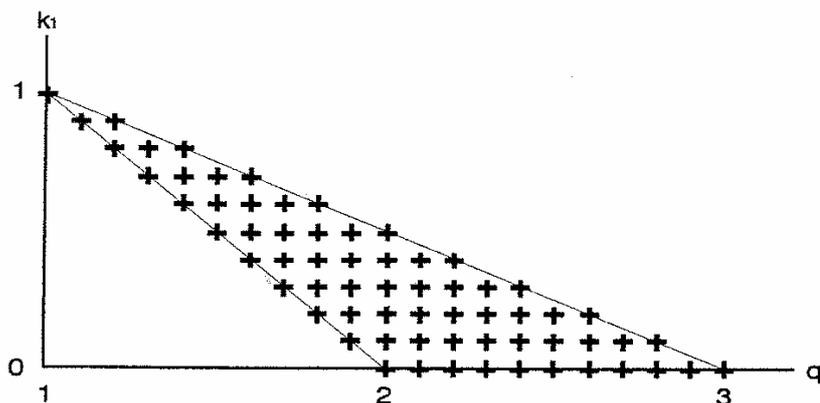
Graphe k_1 en fonction de k_3 avec q paramétrique



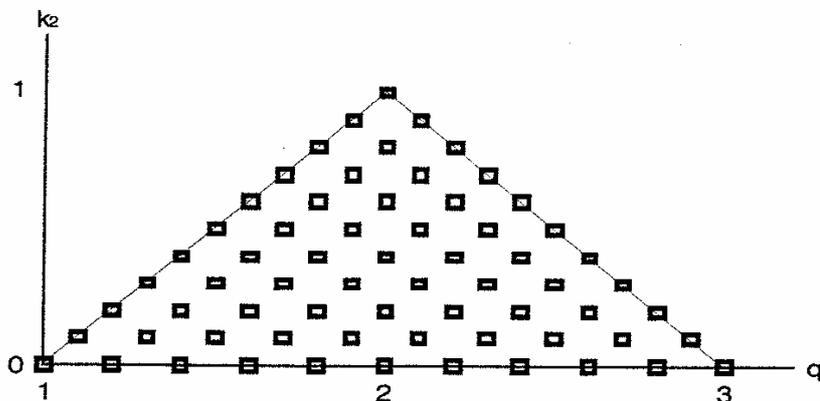
Pour N potets occupés avec q compris entre 1 et 3, le nombre de plantules est compris entre N et 3N et le nombre de possibilités découle de la relation : $k_1+k_2+k_3=1$, (de $k_2=0$ à $k_2=1$) est exprimé par la formule : $(N+1)(N+2)/2$

Si la répartition des plantules dans les potets obéit à la loi binomiale (pour un comptage quelconque), la relation suivante est vérifiée : $K_2^2=3k_1k_3$.

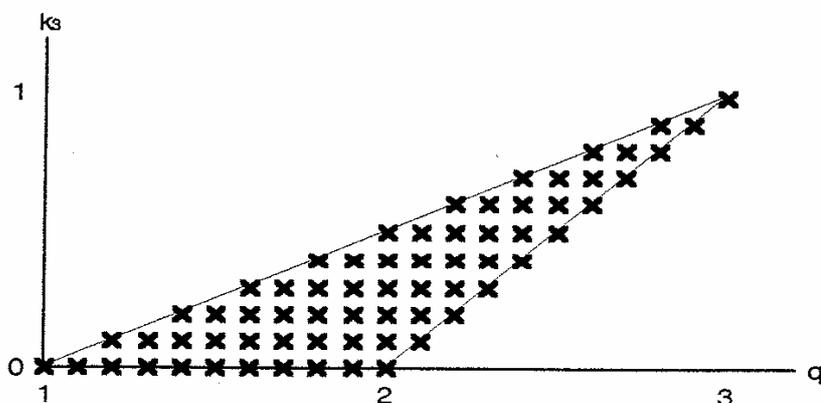
Trois graphes : k_1, k_2, k_3 en fonction de q, avec N=10.



Graphe $k_1 = f(q)$, avec N = 10

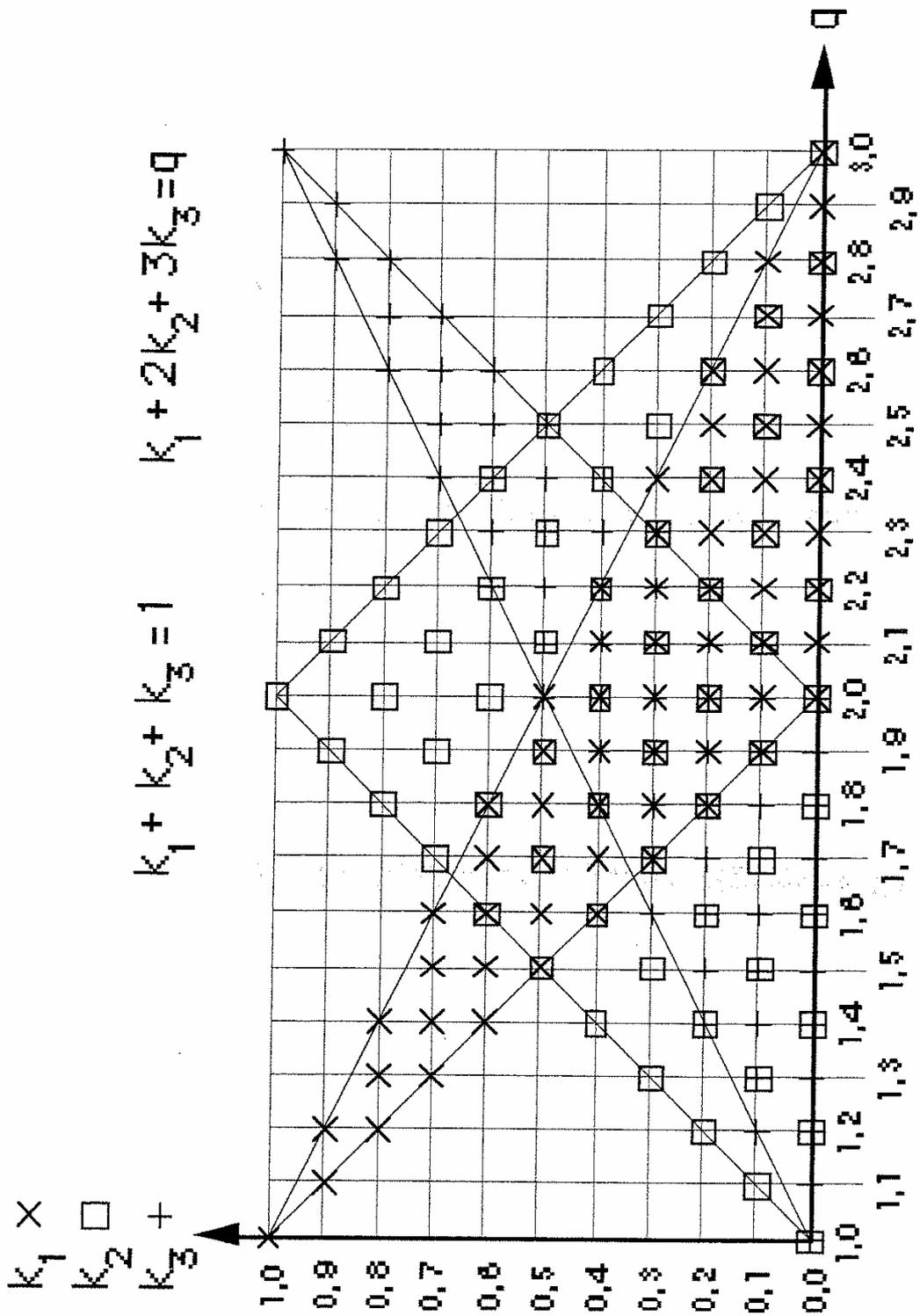


Graphe $k_2 = f(q)$, avec N = 10



Graphe $k_3 = f(q)$, avec N = 10

Superposition des trois graphes



$N = 10$

Calcul du nombre de possibilités pour une valeur de q données :

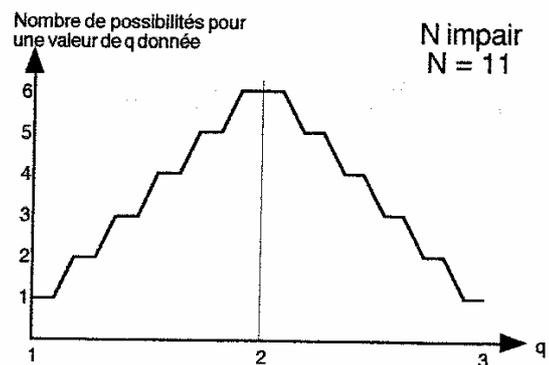
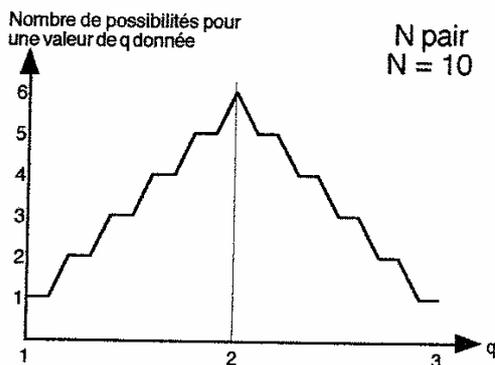
(Nombre de combinaisons de $k_1+k_2+k_3=1$) et la diagonale pour q constant résulte du graphe :

$$k_1 = 2 - q - k_3$$

Nombre de potets	Nombre de possibilités sur la diagonale q
0 (que des potets 1 ou 3) et 1.....	1 possibilité $\times 4 = 4$
2 et 3	2 possibilités $\times 4 = 8$
4 et 5	3 possibilités $\times 4 = 12$
6 et 7	4 possibilités $\times 4 = 16$
8 et 9	5 possibilités $\times 4 = 20$
10(diagonale de symétrie).....	$\frac{10}{2} + 1 = 6$
Total	= 66

Si N est impair (N = 11 par exemple), on a le tableau suivant :

Nombre de potets	Nombre de possibilités sur la diagonale q
0 (que des potets 1 ou 3) et 1.....	1 possibilité $\times 4 = 4$
2 et 3	2 possibilités $\times 4 = 8$
4 et 5	3 possibilités $\times 4 = 12$
6 et 7	4 possibilités $\times 4 = 16$
8 et 9	5 possibilités $\times 4 = 20$
10 et 11.....	6 possibilités $\times 3 = 18$ (2 pour 10 et 1 pour 11)
Total	= 78



C'est donc autour de $q = 2$ que l'on a le nombre maximum de possibilités (donc d'observations possibles).

Variation du nombre de possibilités en fonction du nombre de potets

Pour N potets, le nombre de possibilités est $(N + 1)(N + 2)/2 = (N^2 + 3N + 2)/2$.

Pour (N + 1) potets, il est de $(N + 2)(N + 3)/2 = (N^2 + 5N + 6)/2$. La différence est de N + 2.

Il existe donc plusieurs niveaux d'information

- le taux de levée (plantules) noté x_1 .
- le taux de survie (plantules) noté x_2
- le taux d'occupation des potets à la levée (noté t_1) et à la survie (noté t_2)
- le nombre moyen de plantules par potets occupés (q) et leur répartition dans les potets à la levée et à la survie (notée $k_1 + k_2 + k_3 = 1$).

Justifications de la formalisation : elles sont au nombre de deux :

:

Approche heuristique

Pour chaque niveau, le nombre d'observations théoriquement possibles est calculable, et donc la probabilité d'occurrence d'une situation observée est connue. Elle peut être comparée à une situation obéissant à la loi binomiale ou non (test du khi 2).

Multiplier les expériences, permettrait de constater que certaines configurations sont plus fréquentes, (qu'elles obéissent à la loi binomiale ou non). Ainsi, à une valeur de x_1 (ou x_2) correspondent une valeur de t_1 (ou t_2), les proportions : k_1 , k_2 et k_3 et une valeur de q .

Si cette démarche permet d'établir des liaisons entre les variables des différents niveaux d'informations, on peut émettre l'hypothèse de l'intervention de paramètres non connus.

Des recherches ultérieures permettraient de les connaître par la démarche classique : hypothèses quant à la nature de ces paramètres, protocole expérimental en vue de leurs vérifications (multiplications des répétitions avec diverses modalités).

Intérêt didactique :

Elle consiste en un exemple de mathématiques appliquées.

Mots-clés : expérimentation *in situ*- interprétation de résultats-analyse de données- modélisation- logique combinatoire- formalisation mathématique-protection des forêts contre les incendies- percolation- paléoécologie.-forêt méditerranéenne- chêne pubescent- Quercus pubescens- semis direct-semis en potets- semis à la volée..

Bibliographie

- **Remarque liminaire.** Il n'existe aucune bibliographie concernant la formalisation. Il s'agit d'une démarche originale, une création de l'auteur réalisée à partir de mathématiques élémentaires.

- ANONYME 1995, Il a créé une canne à semer les glands. LE PROVENÇAL édition d'Aix en Provence, mercredi 22 novembre 1995, p.6.
- ALEXANDRIAN D.1979.Les reboisements en chênes méditerranéens.Bulletin Technique de l'ONF,n°10 ,1979 pp17-30.
- ASSOCIATION FORET MEDITERRANEENNE, CEMAGREF ?1981, Les semis de glands de chênes, FORET MEDITERRANEENNE, Tome III, n° 2, 1981, pp207-208.
- BONNIER G, 1934, Flore complète illustrée en couleurs, de France, Suisse et Belgique, Librairie générale de l'enseignement, Paris.
- BRAUN-BLANQUET J, ROUSSINE N, NEGRE R, 1951, Les groupements végétaux de la France méditerranéenne, CNRS, CEPE Montpellier, 297p.
- CHAMPROUX P 1985, Essai d'introduction de Chêne pubescent par semis direct à Luminy, 2^e compte rendu, CEMAGREF Aix, 7p+annexes.
- CHAMPROUX P, D E D (Diplôme d'Etudes Doctorales) 1996, Université d'Aix-Marseille III, Faculté des Sciences et Techniques de St Jérôme, Marseille Installation du chêne pubescent par semis *in situ* en conditions forestières méditerranéennes, 134p+annexes.
- CHAMPROUX P, ROUX C, THINON M, 1991, Le semis de glands pré germés de chêne pubescent (*Quercus pubescens* L) en Basse Provence, Bull.Soc.Linnéenne Prov., TomeXLII, 1991, pp, 57-58.
- CHAMPROUX P., 1996, La canne à semer les glands, La feuille et l'aiguille, n° 24, août1996.
- CHARLES J P, 1981, La chênaie pubescente dans le massif de Ste-Victoire (B.du Rh)
DEA Botanique et écologie méditerranéenne, Université d'Aix-Marseille III, Fac.Sci.Tech.St-Jérôme,Marseille,55p.
- CLAUDOT E.J., 1974, Indications pour la campagne1974-1975 de récolte, de conservation et de semis de glands des chênes méditerranéens, CTGREF Aix en Pce, Le Tholonet, 30p.
- DE MONTGOLFIER J, 1984, Le chêne pubescent-FORET MEDITERRANEENE, 1984 tome VI, N° 2, pp.317-320.
- DIMON J., 1976, Les Glands de chênes méditerranéens : Récolte-Conservation et semis directs, Mémoire ENITEF, 1976,93p, CEMAGREF Aix
- DUBY G et al, 1976, Histoire de la France rurale, Tome I, Editions du Seuil, Paris.
- *idem* Tome II *idem*
- *idem* Tome III *idem*

- FLAHAULT C, 1957, La distribution géographique des végétaux dans la région méditerranéenne française. Encyclopédie biologique, Tome XVIII, 1 p178, Editions Le Chevalier, Paris.
- FREYDIER J, 1993, Semons des glands de chênes pour reconstituer notre forêt méditerranéenne : pourquoi ? où ? quand ? comment semer ? Archivé à la documentation du CEMAGREF d'Aix en Provence.
- ELSPASS F, GINOUX A, PAILLAT R 2002, Etude de la germination *in situ* du chêne pubescent en Provence, Maitrise de biologie des Populations et des Ecosystèmes. Faculté des Sciences et Techniques, St Jérôme Marseille, 15p+annexes.
- GARANX C 2001, Association pour le reboisement et la protection du Cengle Ste Victoire, Mémoire de DEUST GEN-Foret méditerranéenne et développement rural intégré, Faculté des Sciences et Techniques, St Jérôme Marseille ; 23p+annexes.
- GOMILA H, 1993, Incidence du débroussaillage sur la flore, la végétation et le sol, dans le Sud-est de la France, Doctorat Scie méditerranéennes, Fac.Sci.Tech.St Jérôme, 248p.
- ISSARTIER M, sd, Canne-semoir 70, brevetée SGDG, 7p. Document publié et diffusé par l'auteur.
- LEROY-LADURIE E, 1967, Histoire du climat depuis l'an mil, Flammarion, Paris
- LIEUTAGHI P, 1969, Le livre des arbres arbustes et arbrisseaux, 2 tomes, Robert Morel éditeur, Forcalquier.
- MOLINIER R., 1934, Etude phytosociologique et écologique en Provence Occidentale, Ann.Musée Hist. Nat. Marseille, tome XXVII, Mémoire I, 282p.
- NAHMIAS J, TEPHANY H, GUYON E, 1989, Propagation de la combustion sur un réseau hétérogène bidimensionnel, Rev.Phy.Appl.24, 1989, pp773-777.
- NAHMIAS J, DUBOYS J, 1989, La percolation appliquée, FACE AU RISQUE, no255, aout-sept, pp.94-103.
- ORSINI P., Recherches sur les rongeurs de quelques formations à chênes du midi de la France. Ecole Pratique des Hautes Etudes, Lab.Biogéo.Ecologie des Vertébrés. Montpellier.
- PONS A, *et al* 1975, Les données historiques et l'étude de la flore méditerranéenne, Coll.Int.CNRS : LA FLORE DU BASSIN MÉDITERRANÉEN, N^o235 pp.305-325.
- PONS A, THINON M, 1987, The role of fire from paleological data, Influence of fire on the stability of mediterranean forest ecosystems, Ecol.Med., Tome XIII, fasc.4, 1987, Fac.Sci.Tech..St Jérôme, pp.3-11.
- REVAUX C, 2004, Conséquences de la canicule de l'été 2003 sur un reboisement, DEUST Forêt méditerranéenne et développement rural intégré, Fac.Sci.Tech.St Jérôme, 25p+annexes.
- RODINI C, 2003, Association pour le reboisement et la protection du Cengle Ste Victoire, Mémoire de DEUST GEN-Foret méditerranéenne et développement rural intégré, Faculté des Sciences et Techniques, St Jérôme Marseille ; 25p+annexes

- SEIGUE A, DE MONTGOLFIER J., 1980, Les incendies de la forêt méditerranéenne et la télédétection, Cahier de l'OPIT, n° 3, 3^e trimestre 1980, pp.14-16.
- SEIGUE A., 1985, La forêt circum méditerranéenne et ses problèmes, Ed. Maisonneuve & Larose.
- ., - THINON M 1978, La Pédoanthracologie : une nouvelle méthode d'analyse phytochronologique depuis le néolithique, C.R. Acad. Sci. Paris, 287, Série D : 1203-1206.
- THINON M 1979, Incidence écologiques des reboisements du Mont Ventoux (Vaucluse) : Aspects floristiques et pédologiques, Thèse 3^e cycle, 1979, Université Aix Marseille III, .117 p.
- THINON M 1992. L'analyse pédoanthracologique : aspects méthodologiques et applications, Thèse de doctorat en sciences, 4 juin 1992, Université d'Aix Marseille III, 279 p.
- THINON M, CHAMPROUX P, MATTALIA JP, 2005 LA FEUILLE DE CHENE, Oct. 2055 n° 60 Journal de l'ARPCV (Association pour le Reboisement du Cengle Ste Victoire). Bilan des reboisements réalisés par l'ARPCV sur 3 années.
- TROTTE M., 1983, Intérêt des poquets pour l'étude du comportement du blé vis-à-vis de *Septoria nodorum*, Berk, Sciences agronomiques de Rennes, pp.27-34.
- YSARD A., 1987, Etude expérimentale de la germination de deux chênes méditerranéens : le chêne pubescent (*Quercus pubescens* Willd.) et le chêne kermès (*Quercus coccifera* L), Thèse Doct. 3^e cycle en Développement et amélioration des Végétaux, Université Aix-Marseille III.