

Évaluation du Fibropone comme substrat de culture hydroponique pour la tomate de serre

RAPPORT FINAL

Pour le compte de :
MILCAP INTERNATIONAL



Mars 2000

Table des matières

Table des matières.....	2
1. Résumé.....	4
2. Remerciements.....	5
3. Introduction.....	5
4. Objectifs	5
5. Description de l'expérimentation.....	5
5.1. Réalisation des travaux.....	5
5.2. Méthodologie et protocole.....	6
5.3. Déroulement de l'expérience.....	6
6. Résultats.....	9
6.1. Production de plants.....	9
6.2. Paramètres de croissance	10
6.2.1. Diamètre de la tige.....	10
6.2.2. Nombre de fruits par plant et grappe récoltée	11
6.2.3. Numéro de la grappe en fleur.....	11
6.3. Production	12
6.3.1. Rendement total	12
6.3.2. Rendement commercialisable	15
6.3.3. Taille moyenne des fruits	15
6.4. Analyses de solution.....	16
6.5. Examen post-production des substrats	20
7. Conclusion.....	21
8. Recommandations	22
Annexes	23

Liste des tableaux

Tableau 1: Diamètre moyen des tiges de tomates par substrat (mm).....	10
Tableau 2 : Numéro de la grappe en fleur	12
Tableau 3 : Rendement total par substrat	12
Tableau 4 : Récolte hebdomadaire de tomates par substrat (en kilogrammes) ..	14
Tableau 5 : Répartition des tomates par catégorie pour chaque substrat (en grammes).....	15
Tableau 6 : Répartition des tomates (en poids) par catégorie pour les trois substrats	15
Tableau 7: Résultats d'analyse de la solution du substrat en cours de production (en mg/l)	17
Tableau 8 Analyse de variance: Fruits par plant au 26 sept.....	25
Tableau 9 :Analyse de variance: Fruits par plant au 6 novembre.....	26
Tableau 10 :Analyse de variance: grappe récoltée au 6 novembre	26

Liste des figures

Figure 1 : Diamètre moyen de tige par substrat. Un diamètre plus gros indique un plant plus vigoureux.....	11
Figure 2 : Rendement total par substrat réparti par catégorie de tomates. No 1 et No 2 sont des tomates vendables. Les No 3 sont des rebuts.	13
Figure 3 : Poids de tomates récolté à chaque semaine par substrat. La semaine 9 correspond au « vidage » des plants	14
Figure 4 : Évolution du rapport potassium/azote (K/N) en cours de production. .	18
Figure 5 :Évolution du rapport potassium/calcium (K/Ca) en cours de culture....	19
Figure 6 : Évolution du rapport calcium/magnésium (Ca/Mg) en cours de culture	19

1. Résumé

La compagnie Milcap International a mandaté le CIDES pour évaluer son substrat horticole à base de fibres textiles pour la production hydroponique de tomates de serre.

Une production d'automne de tomates de serre (cultivar Trust, DeRuitter) a été réalisés dans des pains de laine de roche (témoin, Fibrgro) et des sacs de Fibropone de 10 litres remplis de 680 grammes de coton par sac et de 600 grammes de Fibropone synthétique par sac.

Les transplants de tomates produits en Fibropone ont été plus trapus que les plants cultivés en laine de roche. Ces dernières ont cependant été plus développés. Les plants cultivés en laine de roche ont produit une semaine plus tôt que les plants en Fibropone ce qui a contribué à obtenir un rendement total de 11% supérieur au Fibropone synthétique. La courbe de production du Fibropone synthétique a rattrapé celle de la laine de roche à partir de la quatrième semaine de récolte.

Le Fibropone synthétique a été irrigué en ajoutant une irrigation par jour de plus que la laine de roche tout en réduisant légèrement les apports pour obtenir une quantité d'eau semblable dans les deux cas. Aucune modification à la fertilisation n'a été nécessaire.

En raison de la décomposition rapide du substrat et des problèmes de culture que cela a entraîné (augmentation de la pourriture apicale, diminution de rendement), le Fibropone coton n'a pas été retenu.

Un plus grand volume de substrat aurait été préférable dans les sacs de culture afin d'augmenter la marge de manœuvre pour les irrigations, surtout en début de culture alors que les conditions étaient asséchantes. Le Fibropone synthétique a un bon potentiel horticole.

Le Fibropone synthétique est inerte et permet donc un ajustement facile du pH et de la fertilité.

Nous recommandons d'augmenter la grosseur des sacs à un volume entre 15 et 24 litres, ce qui devrait augmenter la réserve d'eau, facilitant ainsi la régie et réduisant la complexité requise des appareils de contrôle de l'irrigation. Il reste à déterminer la grosseur optimale des sacs de culture.

2. Remerciements

Nous tenons à remercier Milcap International pour l'excellente collaboration qu'il nous ont accordée dans la réalisation de ce projet.

3. Introduction

Après une évaluation favorable réalisée par le Collège Macdonald de l'Université McGill de son substrat horticole à base de fibres textiles synthétiques (le Flocagro), la compagnie Milcap International a approché le CIDES afin d'évaluer ce produit, sous le nom de Fibropone, pour la production hydroponique de tomates de serre. De plus, en raison de la grande disponibilité de résidus de coton ainsi que des préoccupations environnementales liées à l'élimination de fibres synthétiques, il a été demandé d'évaluer également un Fibropone à base de coton, biodégradable après emploi. Après la mise au point de formulations de Fibropone aux propriétés comparables à la laine de roche, le substrat le plus utilisé pour la production de tomates en hydroponique, le CIDES a réalisé un test de production sur ces substrats afin d'évaluer leur potentiel horticole et d'établir leur régie optimale (irrigation, fertilisation).

Le présent rapport fait état des résultats du projet.

4. Objectifs

- Comparer les sacs de culture Fibropone à des pains de laine de roche pour la culture d'automne de tomates de serre.
- Établir des normes de production en sacs de culture de Fibropone.

5. Description de l'expérimentation

5.1. Réalisation des travaux

Les essais de cultivars de tomates ont été effectués dans des serres jumelées recouvertes de verre simple paroi (Lord & Burnham) avec système de chauffage à air chaud, ventilation forcée, système de circulation horizontale de l'air (HAF), contrôleur d'environnement informatisé de la compagnie Damatex et se sont échelonnés du mois de juillet 1999 au mois de décembre 1999.

5.2. Méthodologie et protocole

Trois substrats ont été comparés :

- Sacs de culture Fibropone synthétique à fibres allongées.
- Sacs de culture Fibropone coton.
- Pains de Laine de roche Fibrgro.

Nous avons employé un dispositif en blocs complets avec répartition aléatoire. Chaque parcelle comptait 40 plants répartis en deux rangs doubles à raison de trois plants par sac de culture. Un rang de garde a été aménagé de chaque côté de la serre. Une zone d'irrigation indépendante a été aménagée la laine de roche et une pour les deux formulations de Fibropone.

Les variables mesurées ont été :

- Le stade de développement des plants (diamètre de la tige, numéro de la grappe en fleur, numéro de la grappe récoltée).
- Le rendement brut et net par cueillette, le nombre de fruits, la répartition par catégorie (no 1, no2 et no 3) ainsi que les causes de déclassement.
- Le volume, le pH et la conductivité électrique du drainage et de l'apport.
- Le volume, la fréquence et la durée des apports de solution fertilisante.
- Des analyses de la solution dans le substrat ont été réalisées pour chaque traitement.

5.3. Déroulement de l'expérience

Les tomates (cultivar Trust, DeRuitter) ont été semées le 1 juillet 1999. Les plants cultivés en laine de roche ont été semés en cubes de laine de roche à semis puis repiqués en cubes de propagation en laine de roche(Fibrgro). Les plants cultivés en Fibropone ont été semés en plateaux multicellulaires remplis de Fibropone synthétique puis repiqués en pots ajourés remplis de Fibropone synthétique (Figure 1). Les plants ont été installés sur les sacs de culture le 1 août à une densité de 2,4 plants/m².



Figure 1 : Préparation des pots pour le remplissage. Le substrat a été mouillé au préalable puis étendu dans les pots et nivelé. La texture spongieuse du substrat a rendu l'étalement un peu plus difficile

La consigne de jour était en général de 20° C et la consigne de nuit de 18° C. Lorsque les plants ont été bien chargés de fruits, ils ont été soumis à une baisse de température de 1 degré par 20 minutes jusqu'à 17° C, température qui a été maintenue pendant trois heures avant d'être remontée à la température de consigne de nuit. Cette technique (pre-night) favorise la translocation des assimilats vers le fruit et par conséquent le grossissement du fruit.

Les récoltes se sont échelonnées du 13 octobre au 9 décembre et ont été compilées sur une base hebdomadaire. Les fruits ont été répartis en trois classes.

- Fruits no.1 : forme ronde et uniforme, ondulations tolérées si elles sont régulières et caractéristiques d'une variété, calibre de 108 à 450 g. Couleur uniforme, pas de collet vert ou de coup de soleil. Aucune tache, cicatrice ou égratignure plus grande que 5 mm (cicatrice stylaire de 10 mm tolérée). Aucune meurtrissure, crevasse, fendillement ou maladie affectant la qualité comestible du fruit. Les blessures causées par le travail ne sont pas considérées.
- Fruits no.2 : Forme peut être légèrement difforme (côtelée, plate, ovale, carrée, poire). Calibre de 80 à 450 g. Couleur uniforme, pas de collet vert ou de coup de soleil. Taches, cicatrices ou égratignures sont tolérées si elles n'endommagent pas la qualité comestible de la tomate. Aucune maladie, aucune cicatrice ou plaie endommageant la qualité comestible de la tomate. Les blessures causées par le travail ne sont pas considérées.

- Fruits no.3 : catégorie de tomates dont la qualité comestible est affectée soit par le fendillement, des microfissures profondes (russeting) de la pourriture apicale ou des tomates très difformes.

Les plants ont été tuteurés et drageonnés au besoin et la régie de l'irrigation a été effectuée de façon à maintenir un taux de drainage de 20% pour chaque traitement. La régie de fertilisation est résumée au Tableau 1.

Tableau 1 : Consignes de fertilisation

Éléments nutritifs	Préparation des plants 8 premières semaines	Pour les 6 premières semaines après la plantation	Pour le reste de la culture Il y a eu alternance entre 2 solutions nutritives	
N	150 ppm	190 ppm	190 ppm	190 ppm
P	50 ppm	50 ppm	50 ppm	50 ppm
K	150 ppm	285 ppm	425 ppm	475 ppm
Ca	150 ppm	168 ppm	214 ppm	237 ppm
Mg	30 ppm	56 ppm	71 ppm	79 ppm
Cu	0,1 ppm	0,1 ppm	0,1 ppm	0,1 ppm
Fe	3,0 ppm	3,0 ppm	3,0 ppm	3,0 ppm
Mo	0,05 ppm	0,05 ppm	0,05 ppm	0,05 ppm
Zn	0,20 ppm	0,20 ppm	0,20 ppm	0,20 ppm
Mn	1,5 ppm	1,5 ppm	1,5 ppm	1,5 ppm
B	0,4 ppm	0,4 ppm	0,4 ppm	0,4 ppm
pH	5,5 à 6,0	5,5 à 6,0	5,5 à 6,0	5,5 à 6,0
C.E. dans le substrat	Augmentation progressive de la C.E. de 0,5 à 2,5 mS/cm	Augmentation progressive de la C.E. de 2,5 à 5,0 mS/cm	Départ à 1,5 mS. Augmentation progressive à 5,0 mS/cm à l'automne.	

- La fréquence des irrigations a été ajustée de façon à obtenir un drainage moyen d'environ 20% par jour. Trois périodes d'irrigation ont été programmées :
- Période d'imbibition des sacs. Consiste en 3 ou 4 arrosages le matin pour réhumidifier les sacs avec drainage seulement à la dernière irrigation de la période. Tous les substrats recevaient le même nombre d'arrosages, mais les Fibropone recevaient parfois des doses inférieures en raison de la réserve moins grande dans le sac.

- Période active. Les arrosages comblent les besoins de la plante pendant sa période de croissance active. On vise du drainage à chaque arrosage. La laine de roche recevait 5 ou 6 arrosages durant cette période. Le Fibropone synthétique en recevait un de plus, mais la dose était légèrement réduite (par exemple, 80 ml par plant par arrosage alors que la laine de roche en recevait 100).
- Période de repos : On maintient le taux d'humidité dans les sacs. Tous les substrats recevaient le même nombre d'arrosages, mais les Fibropones recevaient parfois des doses inférieures en raison de la réserve moins grande dans le sac.

6. Résultats

6.1. Production de plants

La germination des plants de tomate a été équivalente dans les deux substrats. Les plants cultivés en laine de roche ont eu un développement plus rapide (une feuille de plus à la plantation) mais davantage tendance à étioler qu'en Fibropone synthétique (Figure 2). Le Fibropone synthétique tendait à rester plus sec en surface ce qui a éliminé la formation d'algues.



Figure 2 : Transplants prêts à être placé sur sac de culture. Le recouvrement a été enlevé afin de montrer les racines

Le seul inconvénient résultant de l'emploi du Fibropone est relié à la légèreté du produit ce qui le rend sujet à s'éparpiller. Aussi est-il préférable de l'humecter

avant le remplissage des plateaux de semis et des pots de culture afin d'augmenter sa cohésion. Le produit demeure cependant spongieux et il faut le travailler pour obtenir un remplissage uniforme des pots.

6.2. Paramètres de croissance

Tous les paramètres de croissance ont été évalués le 26 septembre et le 6 novembre. Cinq plants par parcelle ont été échantillonnés au hasard et les moyennes ont été établies pour chaque répétition.

6.2.1. Diamètre de la tige

Le diamètre moyen des tiges a été mesuré sur 5 plants par parcelle à la cinquième feuille. Cette mesure donne une indication de la vigueur des plants. Le diamètre des tiges des plants cultivés dans le Fibropone synthétique était supérieur à celui des plants dans la laine de roche le 26 septembre, mais la différence n'était pas statistiquement significative (Tableau 2 et Figure 3). Le 6 novembre, les différences de diamètre entre les trois substrats n'étaient plus statistiquement significatives.

Tableau 2: Diamètre moyen des tiges de tomates par substrat (mm)

Substrat	26 sept **	06 nov ns
Laine de roche	9.1 ab	10.7 a
Fibropone	9.6 a	10.4 a
Coton	8.4 b	9.7 a
Moyenne	9.0	10.3

** : Statistiquement significatif au seuil $p=0,01$ (ANOVA)

ns : Différences non significatives (ANOVA)

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil $p=0,05$ (LSD protégé)

Ces résultats indiquent une bonne vigueur initiale dans le Fibropone et la laine de roche tandis que le coton exhibe déjà une perte de vigueur en raison de sa décomposition et de la soif d'azote qu'elle provoque.

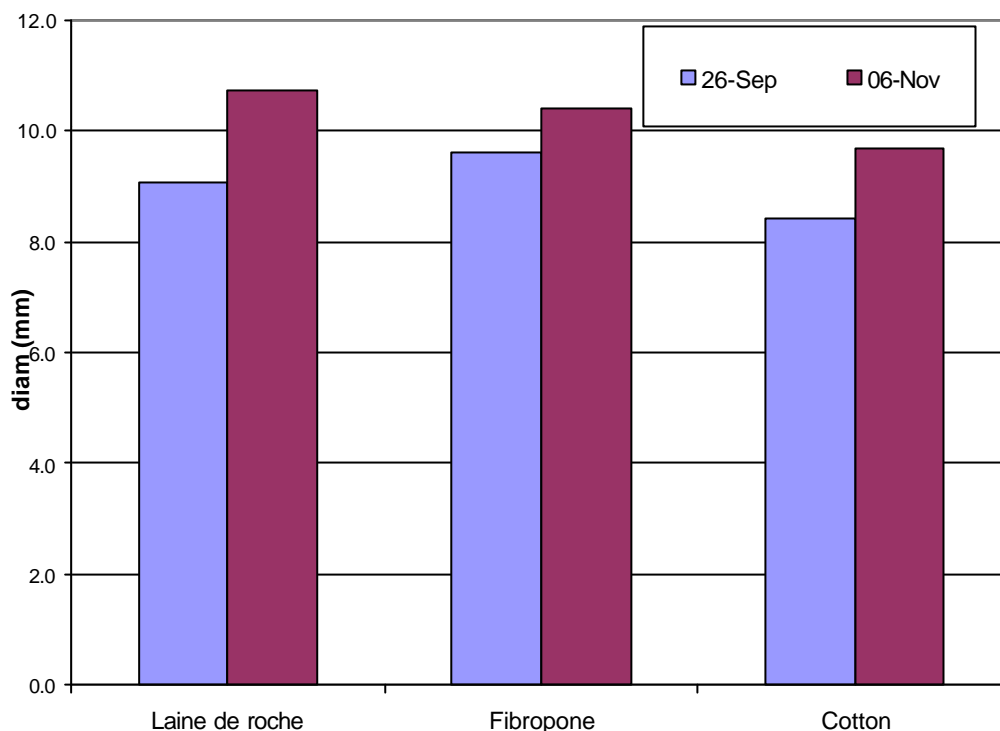


Figure 3 : Diamètre moyen de tige par substrat. Un diamètre plus gros indique un plant plus vigoureux.

6.2.2. Nombre de fruits par plant et grappe récoltée

L'analyse statistique de ces deux paramètres a révélé qu'il n'y avait pas de différence significative entre les différents substrats (données en annexe), indiquant que le développement des plants était équivalent entre les trois substrats.

6.2.3. Numéro de la grappe en fleur

Le tableau 3 donne la grappe en fleur moyenne pour les différents traitements. Les grappes sont numérotées à partir du bas du plant. Ainsi la grappe numéro 4 est la quatrième grappe à partir du bas. L'analyse statistique révèle que les plants en laine de roche ont presque une grappe d'avance le 26 septembre, mais que cette avance n'était plus que d'une demi-grappe le 6 novembre.

Tableau 3 : Numéro de la grappe en fleur

Traitement	26 sept **	06 nov ***
Laine de roche	5.53 a	6.40 a
Synthétique	4.80 b	5.93 b
Coton	4.73 b	5.80 b

** : Statistiquement significatif au seuil $p=0,01$ (ANOVA)

*** : Statistiquement significatif au seuil $p=0,001$ (ANOVA)

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil $p=0,05$ (LSD protégé).

6.3. Production

6.3.1. Rendement total

Le Tableau 4 présente le rendement total par substrat, en kilogrammes.

Tableau 4 : Rendement total par substrat

Substrat	Rendement total (kg)	***	Kg/m ² total
Laine de roche	407 a		10.46
Synthétique	364 b		9.16
Coton	312 c		8.03
Total	1083		

*** : Statistiquement significatif au seuil $p=0,001$ (ANOVA)

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil $p=0,05$ (LSD protégé)

Ces valeurs incluent tous les fruits, commercialisables ou non et donne une indication du potentiel de production de chaque substrat. On remarque que la laine de roche a produit plus que le Fibropone sur les 9 semaines de récolte (8 semaines de récolte régulière et la dernière semaine, le « nettoyage » des plants). La différence entre la laine de roche et le Fibropone synthétique est de 43 kg, soit une différence de 11% entre le Fibropone synthétique et la laine de roche. La performance du Fibropone a été légèrement influencée par les deux semaines d'ajustements à la régie pour l'adapter aux propriétés du substrat.

De plus, le Fibropone a commencé à produire une semaine après la laine de roche et le Fibropone synthétique a toujours été pénalisé par ce retard. Le seul ajustement à la régie pour l'adapter au Fibropone a été l'irrigation. En raison de la faible rétention en eau du substrat, causé par un volume de sac insuffisant, les plants en Fibropone ont souffert davantage des conditions chaudes et sèches du mois d'août. En particulier, il a fallu ajouter une irrigation au Fibropone tout en réduisant la quantité de solution fournie à chaque apport de façon à ce que tous les substrats produisent le même volume de drainage (la quantité de solution qui

s'écoule du sac). Dans la période d'ajustement, les plants sur Fibropone ont flétri plus souvent que les plants en laine de roche ce qui a contribué au retard d'une semaine du Fibropone comparé à la laine de roche.

La Figure 4 montre la répartition du rendement total par catégorie (no 1, no 2 et no 3) pour chaque substrat. La laine de roche a un pourcentage plus élevé de tomates déclassées en raison d'une incidence plus élevée de pourriture apicale en début de saison provoquée par un accident de culture.

Le Tableau 5 montre la progression des cueillettes avec le temps. La neuvième semaine correspond à la cueillette finale, alors que tous les fruits dont le diamètre était supérieur à 3 cm ont été cueillis et comptabilisés. Lors de la dernière cueillette on remarque qu'il restait moins de fruits (en masse) sur le coton que sur le Fibropone synthétique ou la laine de roche. On remarque qu'à partir de la sixième semaine, les récoltes dans le Fibropone synthétique sont comparables à la laine de roche. Le coton par contre a atteint son pic de production à la cinquième semaine et n'a pas pu soutenir le rythme par la suite. La décomposition rapide du substrat dès sa mise en production et la diminution du volume de substrat qui s'en est suivi ont visiblement contribué à cette diminution de rendement.

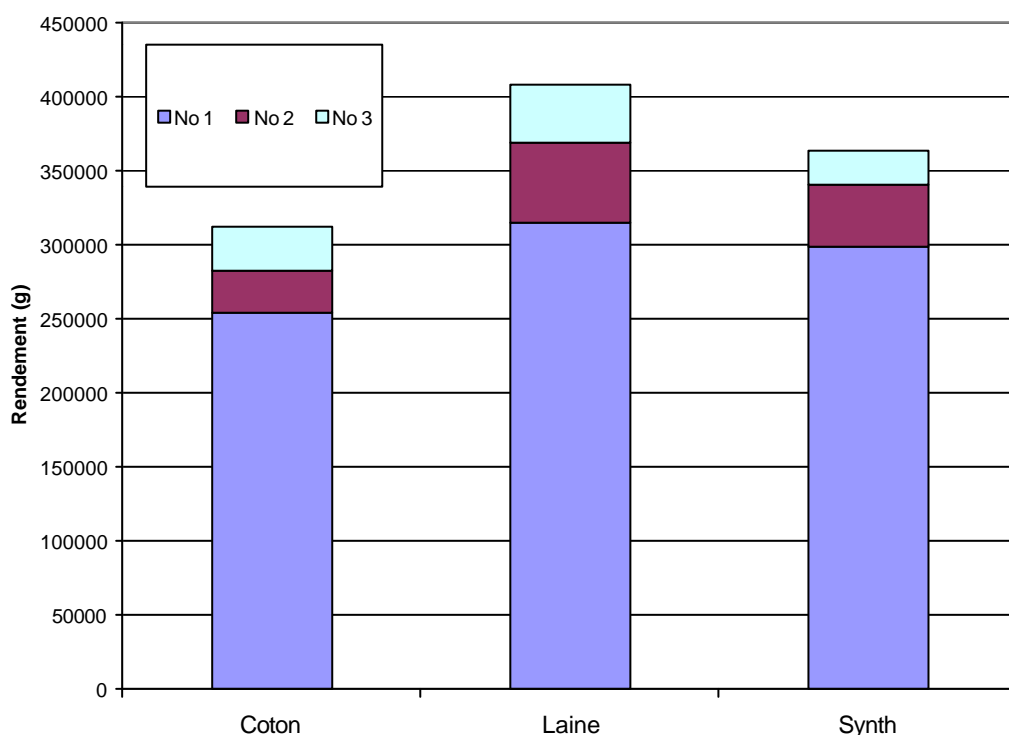


Figure 4 : Rendement total par substrat réparti par catégorie de tomates. No 1 et No 2 sont des tomates vendables. Les No 3 sont des rebuts.

La même masse de fruits a été prélevée des plants sur Fibropone synthétique et sur laine de roche à la dernière cueillette. Jumelé à l'examen de la courbe de rendement dans les six semaines précédentes, qui se superpose pour le Fibropone synthétique et la laine de roche ($R^2=0,95$), il semble que ces deux substrats ont le même potentiel pour le reste de la saison.

Tableau 5 : Récolte hebdomadaire de tomates par substrat (en kilogrammes)

Semaine	Laine de roche	Synthétique	Coton
1	6	0	2
2	26	3	6
3	42	28	21
4	24	25	21
5	70	62	68
6	51	49	47
7	39	50	48
8	34	31	24
9	115	115	74
Total	407	364	312

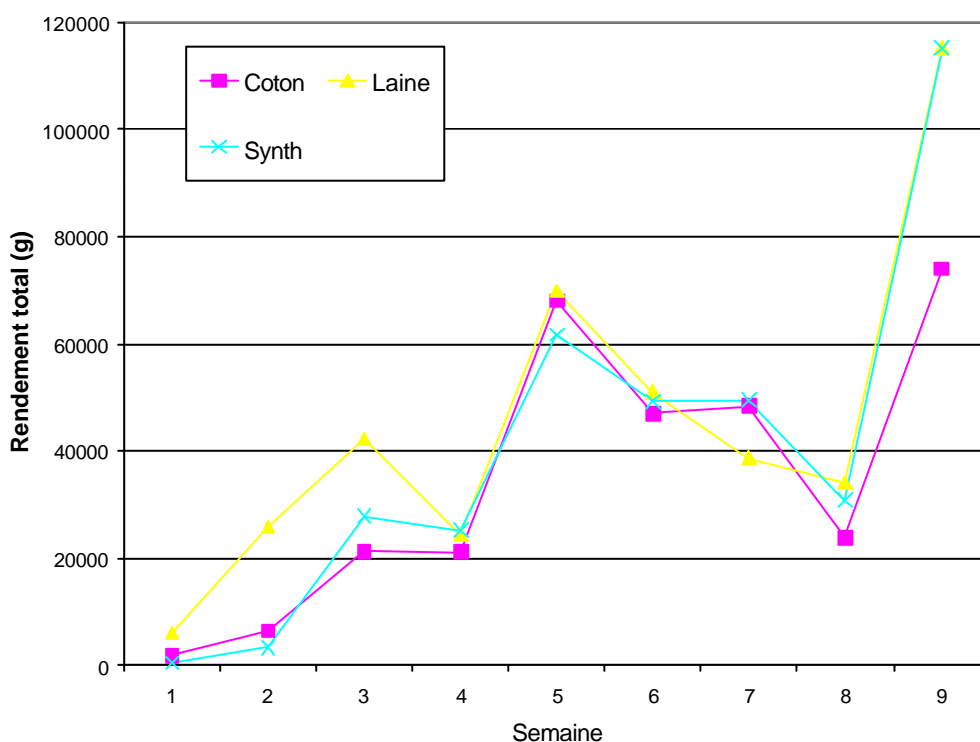


Figure 5 : Poids de tomates récolté à chaque semaine par substrat. La semaine 9 correspond au « vidage » des plants

6.3.2. Rendement commercialisable

L'analyse de variance sur les rendements en tomates numéro 1 montre qu'il n'y a pas de différence significative entre le Fibropone synthétique et la laine de roche. (Tableau 6). Le rendement en tomates vendables est la somme des tomates numéro 1 et des numéro 2. Dans cette catégorie, il y a une différence statistiquement significative entre les trois substrats.

Tableau 6 : Répartition des tomates par catégorie pour chaque substrat (en kilogrammes)

	No 1 **	No 2 Vendable ***	No 3
Laine de roche	3155 a	53	369 a
Synthétique	298 a	41	340 b
Coton	253 b	28	282 c

** : Statistiquement significatif au seuil $p=0,01$ (ANOVA)

*** : Statistiquement significatif au seuil $p=0,001$ (ANOVA)

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil $p=0,05$ (LSD protégé).

Le Tableau 7 reprend ces données et montre le pourcentage de fruits récoltés par catégorie pour chaque substrat. On remarque que la laine de roche a un pourcentage de tomates vendables équivalent au coton mais inférieur au Fibropone synthétique. La laine de roche a également un pourcentage de fruits no 1 inférieur aux deux autres substrats. Pour bien interpréter ce chiffre, il faut savoir que la chaleur en début de production (mois d'août) de même qu'une salinité accidentellement trop élevée au même moment (entre 8,2 et 8,8 mS au lieu de 3,5 mS) a provoqué des dommages sur la première grappe. Comme les fruits de cette grappe étaient déjà plus gros en laine de roche, c'est ce traitement qui a subi les plus grandes pertes sous forme de fruits déclassés (no 3).

Tableau 7 : Répartition des tomates (en poids) par catégorie pour les trois substrats

	No 1	No 2	Vendable	No 3
Laine de roche	77%	13%	91%	9%
Synthétique	82%	11%	94%	6%
Coton	81%	9%	90%	10%

6.3.3. Taille moyenne des fruits

La taille moyenne des tomates a été calculées pour les semaines de récolte 1 à 8 (Tableau 8). La semaine 9 a été retranchée car on y inclus tous les fruits, y compris les immatures. Quoique le Fibropone synthétique ait produit des fruits en moyenne plus gros que la laine de roche, ces résultats n'étaient pas

statistiquement significatifs en raison surtout de la grande variabilité des résultats entre les répétitions.

Tableau 8 : Poids moyen des fruits pour les semaines de récolte 1 à 8

Substrat	Poids moyen des fruits (g) (ns)			
	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Moyenne
Synthétique	196.3	191.8	187.6	191.9
Laine de roche	185.9	197.4	179.0	187.5
Coton	181.9	190.2	182.9	185.0

6.4. Analyses de solution

Les solutions dans le substrat ont été analysées les 3 et 17 octobre ainsi que le 7 décembre. Les teneurs en éléments du Fibropone synthétique ont suivi celles de la laine de roche pendant toute la saison (Tableau 9). Les analyses ont indiqué des teneurs légèrement plus élevées dans le Fibropone synthétique que dans la laine de roche pour la plupart des éléments. Cette différence n'est pas significative en soi et peut être due aux différences de régie d'irrigation qui auraient laissé le Fibropone légèrement plus sec au moment de l'échantillonnage et donc avec des engrais plus concentrés (remarquer la conductivité électrique (CE) plus élevée dans le Fibropone synthétique que dans la laine de roche). Dans les deux cas (laine de roche et Fibropone synthétique) les ratios entre les éléments ainsi que le pH, les meilleurs indicateurs d'une fertilisation adéquate, se situent dans les écarts acceptables (Figure 6 et suivantes). On remarque également que la teneur en métaux lourds est plus faible dans le Fibropone synthétique, quoiqu'elle soit très faible dans tous les substrats (Tableau 9).

Le coton a montré une carence en azote qui s'explique par la consommation de l'azote par les micro-organismes décomposeurs. On remarque également que le coton a maintenu des niveaux plus élevés de plusieurs éléments, sa conductivité et son pH ont fluctué grandement, probablement encore une fois suite à sa décomposition rapide. Le coton étant composé de cellulose pure, sa décomposition totale ne laisse aucun sous-produit. Par contre, en cours de décomposition les intermédiaires seront riches en radicaux libres qui contribuent à créer une capacité d'échange cationique (CEC) qui permet de fixer plusieurs des éléments fertilisants ajoutés (K, Ca, Mg surtout). Cette fixation des engrais en cours de décomposition du substrat permet d'expliquer les teneurs très élevées de certains éléments en fin de culture. La poursuite de la décomposition aurait comme effet de libérer ces engrais avec comme conséquence que la régie de la fertilisation est pratiquement impossible avec un substrat en décomposition rapide.

Tableau 9: Résultats d'analyse de la solution du substrat en cours de production (en mg/l)

Date	Substrat	pH	CE (mS)	NH ₄	NO ₃	P	K	Ca	Mg
03 oct	Coton	6.92	4.7	11.277	327.4	21.77	846.8	292.0	88.48
03 oct	Synth.	5.69	6.28	5.239	622.4	75.73	1017.6	500.2	117.29
03 oct	Fibrgro	5.38	5.37	5.435	535.8	62.07	857.3	404.8	96.30
17 oct	Coton	7.27	5.12	16.318	138.2	13.08	898.2	372.4	126.48
17 oct	Synth.	6.60	3.72	9.217	222.5	26.19	586.1	296.3	75.50
17 oct	Fibrgro	6.69	3.33	9.196	202.4	15.58	515.1	266.4	64.65
07 déc	Coton			5.76	9.69	5.68	1981.04	641.11	261.7
07 déc	Synth	6.07	4.45	5.48	203.53	20.72	794.86	301.7	89.45
07 déc	Fibrgro	5.51	4.3	2.13	214.2	13.27	781.29	296.24	89.49

		B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo	Na	S
03 oct	Coton	0.72	0.09	0.50	0.42	0.48		75.64	224.6
03 oct	Synth.	0.96	0.21	1.92	0.85	0.68		95.61	260.8
03 oct	Fibrgro	0.79	0.15	0.66	0.75	0.47		75.75	202.8
17 oct	Coton	0.76	0.12	1.45	0.52	0.75	0.19	86.66	
17 oct	Synth.	0.44	0.14	5.38	1.06	0.46	0.09	42.50	
17 oct	Fibrgro	0.34	0.12	5.34	0.84	0.38	0.09	34.24	
07 déc	Coton	1.33	0.18	2.12	0.94	0.68	0.15	107.86	
07 déc	Synth	0.39	0.3	3.31	0.78	0.07	0.08	28.38	
07 déc	Fibrgro	0.4	0.29	3.65	0.77	0.06	0.06	28.16	

		Al	Ni	Cd	Cr	Co	Pb
03 oct	Coton	0.11					
03 oct	Synth.	0.23					
03 oct	Fibrgro	0.14					
17 oct	Coton	0.17	0.04	0.01	0.04	0.01	0.11
17 oct	Synth.	0.10	0.02	0.01	0.03	0.00	0.06
17 oct	Fibrgro	0.08	0.02	0.01	0.03	0.00	0.05
07 déc	Coton	0.12	0.03	0	0.04	0	0.07
07 déc	Synth	0.05	0	0	0.02	0	0.01
07 déc	Fibrgro	0.13	0	0	0.02	0	0.02

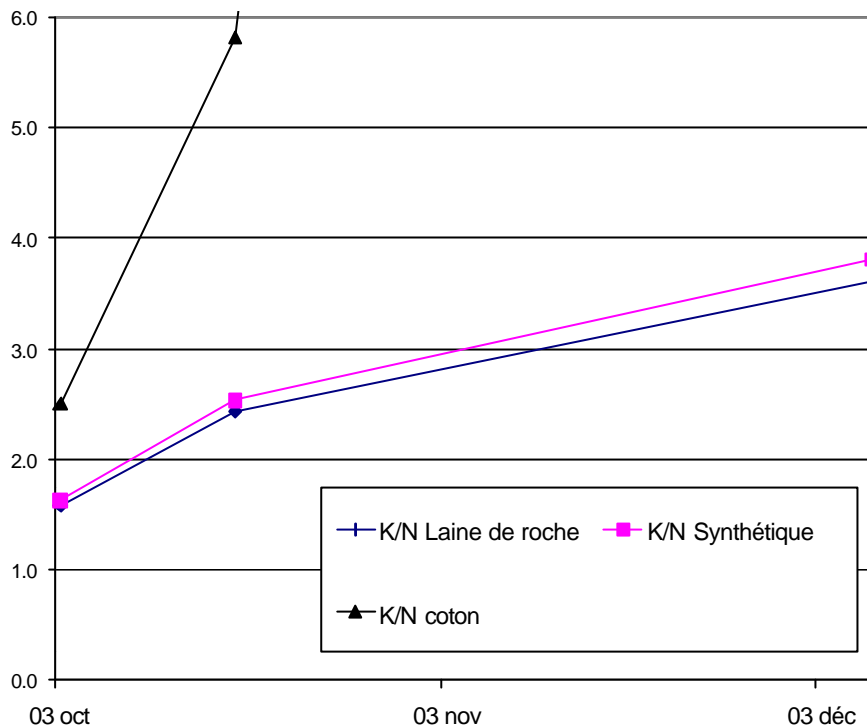


Figure 6 : Évolution du rapport potassium/azote (K/N) en cours de production.

La Figure 6 montre que le rapport K/N de la solution du substrat du Fibropone synthétique et de la laine de roche ont progressé de façon analogue, indice de la consommation semblable des plants. Le Fibropone coton quant à lui a montré un rapport K/N qui a augmenté de façon substantielle, témoin de la consommation excessive d'azote par les micro-organismes décomposeurs.

La Figure 7 montre que le Fibropone synthétique et la laine de roche ont maintenu des rapports K/Ca quasi identiques tandis que le coton a suivi une tendance semblable mais avec des valeurs plus élevées. Le rapport K/Ca plus élevé du coton provoque un antagonisme entre ces deux éléments qui nuit à l'absorption du calcium ce qui provoque la pourriture apicale (carence en Ca) observée dans ce substrat.

Le rapport Ca/Mg (Figure 8) montre des tendances semblables pour la laine de roche et le Fibropone synthétique. Le coton suit la même tendance, mais avec des valeurs plus basses, résultat de la carence en Ca responsable de la pourriture apicale.

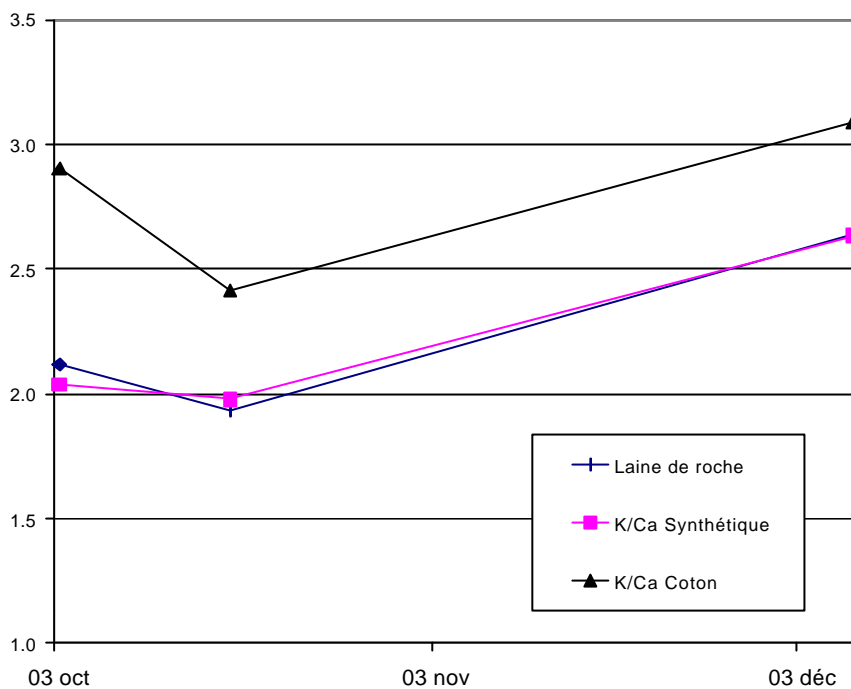


Figure 7 : Évolution du rapport potassium/calcium (K/Ca) en cours de culture.

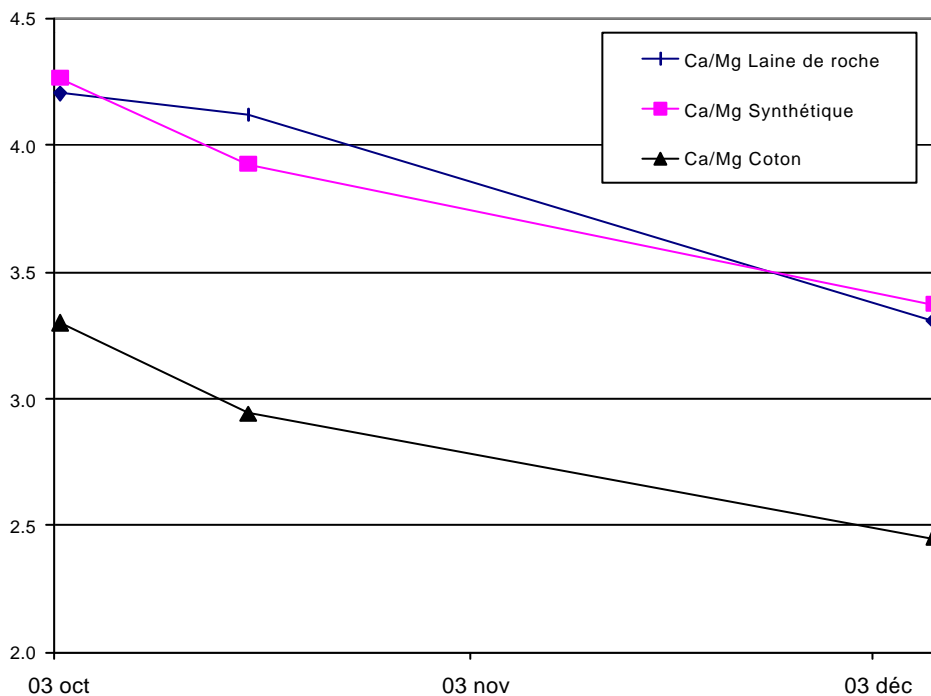


Figure 8 : Évolution du rapport calcium/magnésium (Ca/Mg) en cours de culture

6.5. Examen post-production des substrats

Lors de l'arrachage de la serre, un pain de chacun des substrats a été conservé pour examen. Après séchage à l'air le contenu de chaque sac a été examiné.

Le coton était presque complètement décomposé. Il ne restait qu'une poudre noire et des racines de tomates.

Le Fibropone et la laine de roche n'ont pas été physiquement altérés par la période de culture. Les deux substrats étaient semblables à des sacs en début de culture (même couleur, même texture). À sa mise en culture, le Fibropone a rapidement perdu sa texture « granuleuse » qui permettait de reconnaître les petites boulettes de Fibropone pour se transformer en une masse uniforme. Cette même texture était présente à la fin de l'expérience. La répartition des racines était semblable dans les deux cas : distribution uniforme des racines sous le plant à travers toute l'épaisseur du pain. Ensuite les racines se sont développées au fond du sac, entre le substrat et l'enveloppe de plastique. Il y avait relativement peu de racines apparentes dans la masse du substrat, mais le Fibropone semble avoir été mieux colonisé que la laine de roche.

7. Conclusion

L'objectif de ce projet était d'évaluer la valeur horticole du Fibropone comme substrat horticole pour la culture de la tomate de serre ainsi qu'établir des normes de régie de ce substrat. Nous avons réussi à atteindre ces deux objectifs, mais l'absence initiale de normes de régie peut avoir pénalisé les rendements précoces de tomates en Fibropone synthétique. Les problèmes du Fibropone coton militent en faveur de son rejet comme substrat hydroponique et toute la discussion portera dorénavant sur le Fibropone synthétique.

Les premières semaines passées à apprendre à gérer l'irrigation du Fibropone combinés à un volume restreint de substrat dans les sacs de culture ont nui au Fibropone, contribuant à sa légèrement moins bonne performance que la laine de roche. Par contre l'examen des courbes de rendement en fin de production indique qu'une fois sa régie ajustée et sous un régime de températures et d'assèchement moins, le Fibropone a eu une performance équivalente à la laine de roche. En appliquant une régie adaptée avec des sacs de culture plus aptes à compenser des conditions de croissance plus exigeantes, les résultats en Fibropone auraient approché davantage ceux dans la laine de roche.

La formulation de Fibropone retenue devait avoir les mêmes propriétés hydriques et le même volume que les pains de laine de roche. Nous nous attendions donc à un comportement semblable à l'irrigation. Il est probable que le volume théorique des sacs soit différent de leur volume effectif en raison d'une déformation du sac soit dans sa fabrication (perte de volume près des coutures, forme plus ovale que prévu) ou sous l'effet de sa compression par le poids des plants (quoique ce dernier phénomène ne se serait manifesté qu'en pleine production). Une augmentation du volume des sacs permettrait de remédier à ces phénomènes. Il reste à établir le volume optimal, car en plus de considérations agronomiques reliées à la rétention d'eau, l'aération et la restriction racinaire, le volume des sacs à une incidence économique (coût de fabrication et de transport).

L'inertie chimique du Fibropone et son absence de pouvoir tampon signifient qu'il va réagir rapidement aux changements apportés à la solution nutritive permettant de la flexibilité dans la gestion de la fertilisation. La laine de roche doit être irriguée par une solution acide avant la mise en place des plants afin de neutraliser une alcalinité naturelle du produit. Le Fibropone étant parfaitement neutre, il n'a pas besoin de ce traitement préalable.

Pour la production des transplants, le Fibropone a produit des plants plus trapus mais moins développés dans les mêmes conditions.

8. Recommandations

- Il faut déterminer le volume optimal des sacs de culture. Un plus grand volume augmentera la quantité totale d'eau disponible à la plante et devrait permettre de régir l'irrigation du Fibropone comme celle de la laine de roche (même fréquence et même volume d'apport)
- Il faudra valider les propriétés hydriques des sacs plus gros en situation de production. Des essais bien encadrés chez quelques producteurs pourraient suffire.
- Des essais en production longue (9 mois de récolte) doivent être envisagés, ce mode de culture étant de plus en plus employé dans l'industrie. Nous n'avons pu évaluer l'effet des chaleurs de l'été sur des plants en pleine production, ce qui est l'épreuve ultime que doit subir un substrat en raison des nombreux stress et problèmes de culture qu'il doit surmonter.
- Il faut établir le potentiel du Fibropone pour d'autres cultures de légumes de serres comme les concombres. Le système racinaire des concombres est très différent de celui de la tomate et il serait utile d'évaluer le substrat sur cette culture.
- Nous n'avons pu évaluer l'uniformité du Fibropone d'un lot à l'autre. Cette préoccupation est très présente dans l'esprit des producteurs avec lesquels nous avons discuté. Il faut évaluer si des lots de Fibropone produits à partir de sources différentes ont les mêmes propriétés afin qu'une serre contenant des sacs de différents lots puisse être gérée sans distinction.

Annexes
Résultats détaillés

Tableau 10 : Analyse de variance: tomates no 1

<i>RAPPORT DÉTAILLÉ</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
Laine	3	35043	11681	54820
Synth	3	33153	11051	54341
Coton	3	28162	9387	321685
	1	32711	10904	567829
	2	31654	10551	2085907
	3	31993	10664	1892178

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Substrat	8424421.1	2	4212210.53	25.25	0.0054	6.944
Répétitions	194285.3	2	97142.63	0.58	0.5999	6.944
Erreur	667407.3	4	166851.83			
Total	9286113.6	8				

Tableau 11 : Analyse de variance: tomates vendables

<i>RAPPORT DÉTAILLÉ</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
Laine	3	368785	122928.3	1178758.3
Synth	3	339970	113323.3	2706433.3
Coton	3	281590	93863.3	9334908.3
Rep 1	3	336165	112055	178962775
Rep 2	3	327945	109315	250005675
Rep 3	3	326235	108745	232718275

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Substrat	1315721850	2	657860925	343.9	0.000033	6.9
Répétitions	18788600	2	9394300	4.9	0.08	6.9
Erreur	7651600	4	1912900			
Total	1342162050	8				

Tableau 12 : Analyse de variance: rendement total

<i>RAPPORT DÉTAILLÉ</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
Laine	3	407490	135830	18991825
Synth	3	363540	121180	12679725
Coton	3	312085	104028.3	11483008.3
Rep 1	3	370240	123413.3	254595033
Rep 2	3	359060	119686.7	278461308
Rep 3	3	353815	117938.3	246712133

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Substrat	1520148172	2	760074086	77.2	0.0006	6.9
Répétition	46920338.89	2	23460169.4	2.4	0.2083	6.9
Erreur	39388777.78	4	9847194.44			
Total	1606457289	8				

Tableau 13 : Analyse de variance: Fruits par plant au 26 sept

<i>RAPPORT DÉTAILLÉ</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
Laine de roche	3	40.2	13.4	2.3
Fibropone	3	33.8	11.3	0.4
Coton	3	32.6	10.9	0.3
Rép.1	3	33.6	11.2	0.4
Rép.2	3	35.6	11.9	2.9
Rép.3	3	37.4	12.5	4.1

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Substrat	11.1	2	5.6	6.2	0.059	6.9
Répétitions	2.4	2	1.2	1.4	0.356	6.9
Erreur	3.6	4	0.9			
Total	17.1	8				

Tableau 14: Analyse de variance: Fruits par plant au 6 novembre

<i>RAPPORT DÉTAILLÉ</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
Laine de roche	3	46.2	15.4	3.0
Fibropone	3	47.8	15.9	0.0
Cotton	3	41.2	13.7	1.7
Rép.1	3	47.6	15.9	0.7
Rép.2	3	44.6	14.9	4.6
Rép.3	3	43	14.3	1.7

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Lignes	7.9	2	4.0	2.7	0.18	6.9
Colonnes	3.6	2	1.8	1.2	0.38	6.9
Erreur	5.9	4	1.5			
Total	17.4	8				

Tableau 15 :Analyse de variance: grappe récoltée au 6 novembre

<i>RAPPORT DÉTAILLÉ</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
Laine de roche	3	4.6	1.5	0.093
Fibropone	3	3.2	1.1	0.013
Cotton	3	3.4	1.1	0.013
Rép.1	3	3.6	1.2	0.000
Rép.2	3	4	1.3	0.173
Rép.3	3	3.6	1.2	0.120

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Substrat	0.4	2	0.191	3.74	0.12	6.9
Répétition	0.0	2	0.018	0.35	0.73	6.9
Erreur	0.2	4	0.051			
Total	0.6	8				

Tableau 16 : Analyse de variance: poids moyen des fruits

<i>RAPPORT DÉTAILLÉ</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
Coton	3	555.09	185.03	20.65
Laine	3	562.37	187.46	86.03
Synth	3	575.64	191.88	18.91
Rep 1	3	564.10	188.03	54.67
Rep 2	3	579.47	193.16	14.16
Rep 3	3	549.53	183.18	18.16

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>F critique</i>
Substrat	72.32	2	36.16	1.42	0.34	6.94
Répétitions	149.49	2	74.75	2.94	0.16	6.94
Erreur	101.66	4	25.42			
Total	323.48	8				