



L'éclaircissage du pommier : la métamitrone, un outil d'avenir ?

Pierre-Yves Le Guilloux

► To cite this version:

Pierre-Yves Le Guilloux. L'éclaircissage du pommier : la métamitrone, un outil d'avenir ?. Sciences agricoles. 2015. dumas-01212543

HAL Id: dumas-01212543

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01212543>

Submitted on 6 Oct 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AGROCAMPUS
OUEST

☒ CFR Angers

☐ CFR Rennes



Année universitaire : 2014 - 2015

Spécialité :

Horticulture

Spécialisation (et option éventuelle) :

Fruits Légumes Alimentation et Marché

Mémoire de Fin d'Études

☒ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

L'éclaircissage du pommier : la métamitrone, un outil d'avenir ?

Par : Pierre-Yves LE GUILLOUX



Soutenu à Angers le 18 septembre 2015

Devant le jury composé de :

Président : Emmanuel GEOFFRIAU, enseignant-chercheur AO

Maître de stage : Jean-François SAINT-HILARY, technicien d'expérimentation CEFEL

Enseignant référent : Pascale GUILLERMIN, enseignant-chercheur AO

Autres membres du jury : Christian LAVOISIER, technicien d'expérimentation La Morinière ; Mickaël DELAIRE, enseignant-chercheur AO

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Remerciements

En premier lieu je tiens à remercier mon maître de stage, Jean-François Saint-Hilary, qui a su me guider tout au long de ces six mois afin de mener à bien mon sujet d'étude. J'ai apprécié le travail auprès de lui et appris beaucoup autour de l'arboriculture et dans bien d'autres domaines.

Je remercie l'ensemble du personnel du CEFEL de Montauban, pour les moments de détente aux poses café et aux repas et l'apport de leurs connaissances. Mais également l'ensemble des techniciens du Tarn-et-Garonne, Lot-et-Garonne et Dordogne qui m'ont aidé à récolter des données cruciales.

Je remercie ma tutrice de stage Pascale Guillermin. Grâce à ses conseils elle a su m'aiguiller sur la bonne voie pour la réalisation de ce mémoire.

Enfin je remercie toutes les personnes, famille et amis, qui ont lu et corrigé ce rapport.

Table des matières

Liste des Figures et des Tableaux	
Liste des annexes	
Lexique et abréviations	
Introduction	
I. Synthèse bibliographique autour de la maîtrise de la charge chez <i>Malus domestica</i> (Borkh.)	3
A. Cycle phénologique de <i>Malus domestica</i> (Borkh.)	3
1. Apparition de l'inflorescence	3
2. La floraison	3
3. La Pollinisation	3
4. La Fécondation	4
5. L'Alternance	4
B. Les chutes naturelles chez <i>Malus domestica</i> (Borkh.)	5
1. La chute physiologique du « mois de juin »	5
2. Facteurs influençant la chute physiologique	7
C. La charge et sa maîtrise	7
1. L'éclaircissage mécanique	7
2. L'éclaircissage chimique	9
II. Objectifs de l'étude sur l'intégration d'une nouvelle molécule dans une stratégie de maîtrise de la charge du pommier : la métamitrone.	13
III. Présentation et objectifs des essais menés au CEFEL et chez les producteurs	14
A. L'introduction de la métamitrone dans une stratégie d'éclaircissage	14
B. Les essais intégrant l'utilisation de métamitrone au CEFEL pour l'année 2015	14
1. Objectif de l'essai	14
2. Caractéristiques et conduite des parcelles	14
3. La métamitrone intégrée dans une stratégie d'éclaircissage propre à chaque variété	15
4. Mesure de l'effet de la métamitrone sur Gala selon le stade d'application physiologique de la pomme et la quantité hectare finale apportée	16
5. Mesure sur la célérité de chute selon la stratégie d'éclaircissage et la variété (Gala, Ariane et Fuji)	17
C. Compilation des données récoltées au CEFEL sur Ariane, Fuji et Gala pendant les années 2013, 2014 et 2015	18
1. Objectif de cette compilation	18
2. Evaluation de la sensibilité variétale (Gala, Fuji et Ariane) sur 2013, 2014 et 2015	35
3. Mesure de l'impact des conditions climatiques sur l'efficacité de la métamitrone sur 2013, 2014 et 2015	18

D.	Suivi de la première année d'utilisation de la métamitronne dans les parcelles de producteurs du Sud-Ouest (grandes parcelles).....	19
1.	Objectif des essais.....	19
2.	Déroulement du suivi des essais	20
E.	Traitement des données	20
IV.	Présentation et analyse des résultats	41
A.	Présentation et analyse des résultats obtenus sur micro-parcelles au CEFEL en 2015 41	
1.	Résultats obtenus sur la variété Fuji	41
2.	Résultats obtenus sur la variété Ariane	22
3.	Résultats obtenus sur la variété Gala	22
4.	Résultats sur le stade d'application optimale de métamitronne à une même dose à l'hectare sur la variété Gala.....	23
5.	Résultats sur la dose à l'hectare optimale à appliquer sur la variété Gala	23
6.	Analyse sur la célérité de chute selon la stratégie d'éclaircissage et les variétés : Gala, Ariane et Fuji	24
B.	Comparaison des données récoltées au CEFEL sur Ariane, Fuji et Gala pendant les années 2013, 2014 et 2015	25
1.	Résultat et analyse de la sensibilité variétale de Fuji, Ariane et Gala vis-à-vis de la métamitronne sur 2013, 2014 et 2015	25
2.	Comparaison des sensibilités variétales face à la métamitronne entre Fuji, Ariane et Gala en 2013, 2014 et 2015.....	28
3.	Quel impact des conditions climatiques sur l'efficacité éclaircissante de la métamitronne sur les essais menés au CEFEL ?	31
C.	Présentation et analyse des résultats obtenus chez les producteurs du Sud-Ouest	34
1.	Comparaison de l'efficacité d'éclaircissage de la métamitronne, entre les vergers de producteurs sur les variétés Gala et Fuji	34
2.	Quel impact des conditions météorologiques sur l'efficacité d'éclaircissage de la métamitronne dans les parcelles des producteurs de Gala	35
3.	Quel impact des conditions météorologiques sur l'efficacité d'éclaircissage de la métamitronne dans les parcelles de quatre producteurs de Fuji	37
D.	Bilan sur les variétés : Ariane, Fuji et Gala	37
V.	Discussion générale	38
	Conclusion.....	40
	Bibliographie.....	40
	Annexes	I

Liste des Figures et des Tableaux

Figure 1 : Répartition de la production française de pommes de table en 2013 (France Agrimer 2014)	2
Figure 2 : Répartition de la production européenne de pommes de table en 2013 (France Agrimer 2014)	2
Figure 3 : Stades phénologiques du pommier (Fleckinger J., 1948)	3
Figure 4 : Illustration de la dominance hormonale entre les fruits d'un même corymbe (Bangerth F.K., 2000)	6
Figure 5 : Illustration des différents facteurs physiologiques et environnementaux impactant sur l'abscission du pétiole (Bangerth F.K., 2004)	6
Figure 6 : Darwin tractée à l'avant d'un tracteur (réalisation personnelle)	8
Figure 7 : Démonstration d'Electro Flor sur pommiers (<i>obstwein-technik</i>)	8
Figure 8 : Eclairfel en démonstration dans un verger de pommiers (CTIFL)	8
Figure 9 : Démonstration de l'Eclairvale au CEFEL (réalisation personnelle)	9
Figure 10 : Taux de fructification de la variété Fuji en fonction de la modalité appliquée au CEFEL - 2015	21
Figure 11 : Taux de fructification de la variété Ariane en fonction de la modalité appliquée au CEFEL - 2015	21
Figure 12 : Nombre de fruits total (récoltés+éclaircis manuellement) sur la variété Ariane au CEFEL – 2015	22
Figure 13 : Taux de fructification de la variété Gala selon les modalités appliquées au CEFEL – 2015	22
Figure 14 : Taux de fructification moyen en fonction du stade d'application de métamitrone sur Gala au CEFEL - 2015	23
Figure 15 : Taux de fructification moyen en fonction de la dose à l'hectare appliquée de métamitrone sur la variété Gala au CEFEL - 2015	23
Figure 16 : Pourcentage des fruits chutés en fonction du traitement pendant le mois de mai sur la variété Fuji au CEFEL - 2015	24
Figure 17 : Pourcentage des fruits chutés en fonction du traitement pendant le mois de mai sur la variété Ariane au CEFEL - 2015	24
Figure 18 : Pourcentage des fruits chutés en fonction du traitement pendant le mois de mai sur la variété Gala au CEFEL - 2015	25

Figure 19 : Comparaison du taux de fructification, de la charge en fruits et du calibre moyen entre les variétés Ariane et Fuji au CEFEL – 2013.....	28
Figure 20 : Comparaison de la répartition des fruits en fonction de leur calibre et de la stratégie d'éclaircissage adoptée entre les variétés Ariane et Fuji au CEFEL – 2013	29
Figure 21 : Comparaison du taux de fructification, de la charge en fruits et du calibre moyen entre les variétés Fuji, Ariane et Gala au CEFEL – 2014	30
Figure 22 : Comparaison de la répartition des fruits en fonction de leur calibre et de la stratégie d'éclaircissage adoptée entre les variétés Fuji, Ariane et Gala au CEFEL – 2014 ...	30
Figure 23 : Comparaison du taux de fructification et de la charge en fruits entre les variétés Fuji, Ariane et Gala au CEFEL - 2015.....	31
Figure 24 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, double application de métamitron, et le cumul du rayonnement (W/m^2) deux jours après le premier traitement – CEFEL	31
Figure 25 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, double application de métamitron, et la température nocturne ($^{\circ}C$) deux jours après le premier traitement – CEFEL	32
Figure 26 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, double application de métamitron, et le cumul du rayonnement (W/m^2) trois jours après le second traitement – CEFEL	32
Figure 27 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, double application de métamitron, et la température quotidienne ($^{\circ}C$) trois jours après le second traitement - CEFEL.....	32
Figure 28 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, (ANA+6-BA)/Mét, et le cumul du rayonnement (W/m^2) cinq jours après le traitement de métamitron – CEFEL.....	33
Figure 29 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, (ANA+6-BA)/Mét, et la température quotidienne ($^{\circ}C$) trois jours après le traitement de métamitron – CEFEL	33
Figure 30 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, (ANA+6-BA)/Mét, et l'humidité relative (%) pendant l'heure du traitement de métamitron – CEFEL	33
Figure 31 : Efficacité éclaircissante de la métamitron employée, sur grande parcelle, à la dose de 330ppm et 660ppm par rapport au traitement (ANA+6-BA)/6-BA sur la variété Gala	34
Figure 32 : Répartition, en fonction de la stratégie d'éclaircissage, du pourcentage de fruits dont le calibre est supérieur ou égal à 170 grammes sur la variété Gala 7 à 10 jours avant récolte	34
Figure 33 : Efficacité éclaircissante de la métamitron employée, sur grande parcelle, à la dose de 330ppm à 660ppm par rapport au traitement 6-BA/6-BA sur la variété Fuji	35
Figure 34 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, (ANA+6-BA)/Mét, et le cumul du rayonnement (W/m^2) le jour du traitement de métamitron – Producteurs de Gala	35

Figure 35: Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, (ANA+6-BA)/Mét, et le cumul de l'humidité relative 3 heures après l'application de métamitronne – Producteurs de Gala.....	36
Figure 36: Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, Mé/Mét, et le cumul du rayonnement (W/m ²) le jour de la première application de métamitronne – Producteurs de Gala.....	36
Figure 37: Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, Mé/Mét, et le cumul du rayonnement (W/m ²) le jour de la seconde application de métamitronne – Producteurs de Gala	36
Figure 38: Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, Mét/Mét, et le cumul de l'humidité relative 3 heures après la seconde application de métamitronne – Producteurs de Gala	36
Figure 39 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, 6-BA/Mét, et la température nocturne (°C) cinq jours après l'application de métamitronne – Producteurs de Fuji	37
Figure 40 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, 6-BA/Mét, et la température quotidienne (°C) cinq jours après l'application de métamitronne – Producteurs de Fuji	37
 Tableau 1: Caractéristiques et conduite des parcelles testées	15
Tableau 2: Essai post-floraison 1 : Efficacité de stratégies intégrant la métamitronne - Verger CEFEL FUJI 2015.....	15
Tableau 3: Essai post-floraison 2: stratégies d'éclaircissage intégrant la métamitronne - CEFEL – ARIANE 2015.....	15
Tableau 4: Essai post-floraison 3: stratégies d'éclaircissage intégrant la métamitronne - CEFEL – GALA 2015.....	16
Tableau 5: Effet de l'application de la métamitronne selon le stade physiologique de développement sur la Gala 2015	16
Tableau 6 : Variables mesurées au cours des essais	16
Tableau 7 : Modalités pour l'évaluation de la sensibilité variétale sur plusieurs années	18
Tableau 8 : Compilation des données récoltées sur la variété Fuji selon différentes stratégies d'éclaircissage réalisées au CEFEL en 2013, 2014 et 2015	26
Tableau 9: Compilation des données récoltées sur la variété Ariane selon différentes stratégies d'éclaircissage réalisées au CEFEL en 2013, 2014 et 2015.....	27
Tableau 10 : Compilation des données récoltées sur la variété Gala selon différentes stratégies d'éclaircissage réalisées au CEFEL en 2014 et 2015.....	28

Liste des annexes

Annexe I : Echelle de notation de la phytotoxicité de la métamitronne sur pommier	I
Annexe II : Plan de la parcelle d'expérimentation sur l'essai post-floraison 1 effectué sur la variété Fuji.....	III
Annexe III : Plan de la parcelle d'expérimentation sur l'essai post-floraison 2 effectué sur la variété Ariane	IV
Annexe IV : Plan de la parcelle d'expérimentation sur l'essai post-floraison 3 effectué sur la variété Gala	V
Annexe V : Plan de la parcelle d'expérimentation sur l'essai stade d'application effectué sur la variété Gala.....	VI
Annexe VI : ANOVA sur le nombre de fruits récoltés sur Ariane en 2013 au CEFEL	VII
Annexe VII : Rayonnement solaire cumulé sur cinq jours après la première application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL.....	X
Annexe VIII : Température nocturne dans les 5 jours suivant la première application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL.....	XI
Annexe IX : Température sur 24 heures dans les 5 jours suivant la première application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL.....	XII
Annexe X : Humidité relative sur 4 heures après la première application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL	XIII
Annexe XI : Rayonnement solaire (W/m ²) cumulé dans les 5 jours suivant la seconde application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL.....	XIV
Annexe XII : Température nocturne dans les 5 jours suivant la seconde application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL....	XV
Annexe XIII : Température sur 24 heures dans les 5 jours suivant la seconde application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL...	XVI
Annexe XIV : Humidité relative sur 4 heures après la seconde application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL	XVII
Annexe XV : Rayonnement solaire (W/m ²) cumulé dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm au stade 8-10mm. CEFEL	XVIII
Annexe XVI : Température nocturne dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm au stade 8-10mm. CEFEL	XIX
Annexe XVII : Température sur 24 heures dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm au stade 8-10mm. CEFEL	XX
Annexe XVIII : Humidité relative sur 4 heures après la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm au stade 8-10mm. CEFEL	XXI
Annexe XIX : Rayonnement solaire (W/m ²) cumulé dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Gala.	XXII
Annexe XX : Température nocturne dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Gala.	XXIII
Annexe XXI : Température sur 24 heures dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Gala.	XXIV
Annexe XXII : Humidité relative sur 4 heures après la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Gala ..	XXV

Annexe XXIII : Rayonnement solaire cumulé sur cinq jours après la première application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. Producteurs de Gala.....	XXVI
Annexe XXIV : Température nocturne dans les 5 jours suivant la première application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. Producteurs de Gala.....	XXVII
Annexe XXV : Température sur 24 heures dans les 5 jours suivant la première application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. Producteurs de Gala.....	XXVIII
Annexe XXVI : Humidité relative sur 4 heures après la première application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. Producteurs de Gala. ...	XXIX
Annexe XXVII : Rayonnement solaire (W/m ²) cumulé dans les 5 jours suivant la seconde application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. Producteurs de Gala.	XXX
Annexe XXVIII : Température nocturne dans les 5 jours suivant la seconde application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. Producteurs de Gala.....	XXXI
Annexe XXIX : Température sur 24 heures dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Gala.	XXXII
Annexe XXX : Humidité relative sur 4 heures après la seconde application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. Producteurs de Gala.	XXXIII
Annexe XXXI : Rayonnement solaire (W/m ²) cumulé dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm au stade 8- 10mm. Producteurs de Fuji.	XXXIV
Annexe XXXII : Température nocturne dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Fuji.....	XXXV
Annexe XXXIII : Température sur 24 heures dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Fuji.....	XXXVI

Lexique et abréviations:

- **Abscission** : Phénomène de lyse cellulaire induit par une hormone et provoquant la chute d'organes.
- **Arcure** : Opération consistant à courber les rameaux d'arbres fruitiers pour en diminuer la vigueur afin d'accroître la production de fruits.
- **Auxine** : Phytohormone d'élongation cellulaire jouant un rôle dans des processus de croissance. Elle inhibe la chute des fruits.
- **Brevis** : Nom du produit commercial comportant la substance active : la métamitronne.
- **Carbaryl** : Méthylcarbamate de 1-naphtyle, utilisé d'abord comme insecticide, a présenté un effet de régulateur de croissance agissant sur la chute des fruits.

- **Carbohydrates** : Substances carbonées assurant des fonctions nutritionnelles.
- **Corymbe** : ensemble regroupant l'inflorescence, les feuilles et la pousse de bourse ; issues d'un même bourgeon à fleur.
- **Cytokinine** : Phytohormone stimulant la croissance et la division cellulaire. Joue un rôle dans la régulation de la charge fructifère.
- **Corrélation** : Lien existant entre deux notions dont l'une ne peut être pensée sans l'autre, entre deux faits liés par une dépendance nécessaire.
- **Eclaircissage** : Mode de sélection naturel ou artificiel consistant à supprimer les fleurs et/ou les fruits dans le but de favoriser la croissance des fruits restant sur l'arbre.
- **Eclaircissage manuel** : Réduction de la charge en fruits d'un arbre manuellement après la chute physiologique.
- **Fruits pygmées** : Fruits de petite taille, non commercialisable, dont la croissance s'est bloquée.
- **Nouaison** : Phase initiale de formation du fruit.
- **Phytotoxicité** : Dégâts physiologiques que peut engendrer une substance phytosanitaire sur une plante.
- **Pomiculture** : Culture des arbres ayant des fruits à pépins.
- **Qualités organoleptiques** : Propriétés d'un aliment en termes de goût, aspect, odeur, consistance et couleur.
- **Taux de fructification** : Nombre de fruits pour 100 corymbes après la chute physiologique.
- **ANA** : Acide naphthalène acétique
- **ANOVA** : Analysis of variance
- **BA ou 6-BA** : Benzyladénine
- **BBCH** : Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie
- **CEFEL** : Centre d'expérimentation en fruits et légumes de Midi-Pyrénées
- **Mét** : Métamitron

Répartition de la production française en 2013

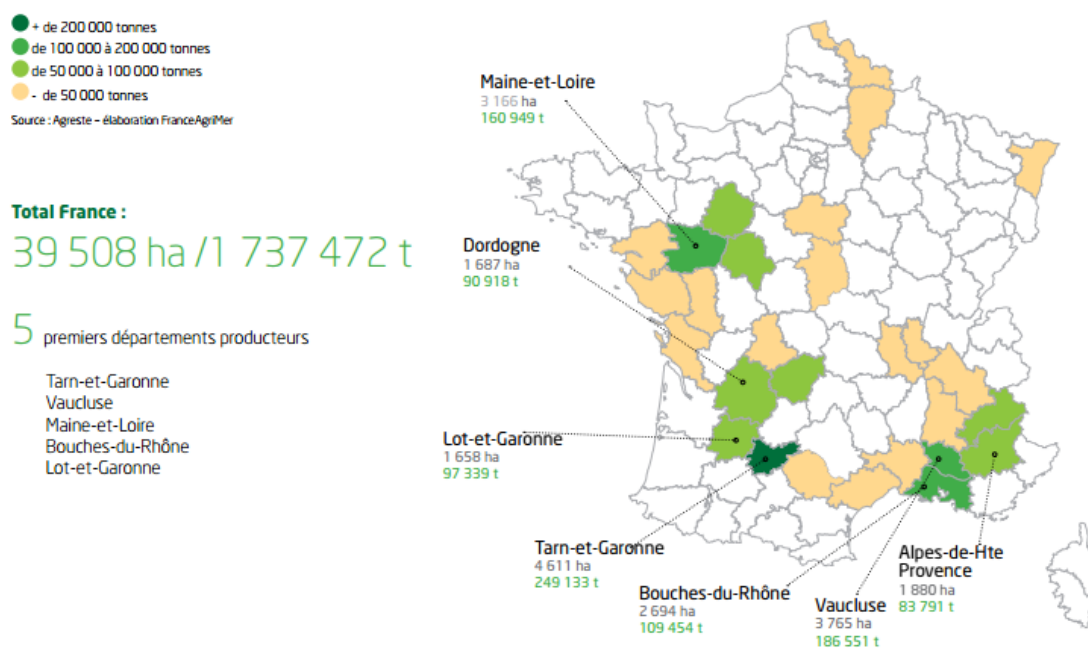


Figure 1 : Répartition de la production française de pommes de table en 2013 (France Agrimer 2014)

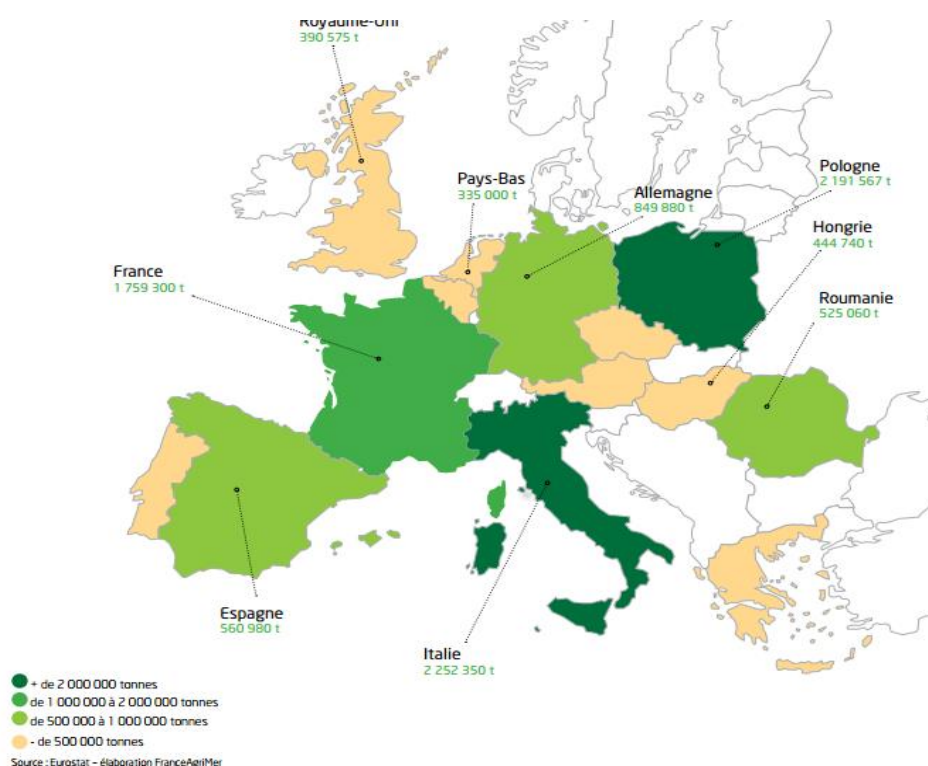


Figure 2 : Répartition de la production européenne de pommes de table en 2013 (France Agrimer 2014)

Introduction

Selon les chiffres de l'année 2013 la pomme reste le fruit le plus produit en France avec une récolte de 1 737 472 tonnes pour une surface de 39 508 hectares (**Figure 1**). Au niveau européen la France se situe à la troisième place des pays les plus producteurs derrière la Pologne et l'Italie, respectivement premier et deuxième de ce classement (**Figure 2**). Les estimations pour l'année 2014 prévoient une production annuelle nationale d'environ 1,67 million de tonnes, en baisse par rapport à l'année 2013 (source : Agreste). Au niveau national, la production de pommes se partage en trois grands bassins de production : le Val de Loire, le Sud-Ouest et la vallée du Rhône. Le département ayant la plus grande production est le Tarn-et-Garonne avec 249 333 tonnes pour une surface de 4 611 hectares. Celui-ci devance largement le Vaucluse, deuxième, avec 186 551 tonnes (3 765 ha) et le Maine-et-Loire, troisième, avec 160 949 tonnes (3 166 ha). La pomme reste le fruit le plus apprécié des français selon le Ctifl. Pour 96% des interviewés celui-ci est un fruit sain et bon (n°349 F&L, avril 2015 p. 50).

Globalement les statistiques tendent à montrer que la récolte et la surface dédiée à la culture de pommes en France sont en diminution depuis plusieurs années. De plus, depuis août 2014, les événements internationaux n'ont pas aidé les professionnels de la filière pomme avec la mise en place d'un embargo de la part de la Russie sur la plupart des produits alimentaires venant de l'Union européenne (n°344 - novembre 2014). A cela s'ajoute la concurrence toujours plus forte des autres pays producteurs européens, ainsi que la pression sociétale favorable à une agriculture plus respectueuse de l'environnement tout en ayant des fruits de bonnes qualités organoleptiques. C'est dans ce contexte difficile que les producteurs français de pommes doivent évoluer et trouver des solutions viables à leur filière. Comme toute exploitation agricole, celle dédiée à la pomme : celui déquilibrer ses comptes entre les coûts d'exploitations et ses recettes provenant de la vente de sa production. Ces dernières, dans le contexte commercial évoqué plus haut, intègrent des contraintes non seulement en matière de compétitivité de prix de vente mais aussi sur les qualités de production. Le consommateur impose pour son achat, des qualités organoleptiques que le producteur doit satisfaire. Ceci influe directement sur une étape primordiale de la production : l'éclaircissage des arbres. L'importance des enjeux en la matière a conduit à faire de cette pratique un important sujet de recherche. Des solutions, basées sur la chimie, se sont révélées prometteuses. Toutefois, avec les interdictions frappant certains produits phytosanitaires (notamment le Carbaryl commercialisé sous forme de Sevin®) l'éclaircissage pose toujours problème. Pour répondre à cette problématique d'allier performance économique et agronomique tout en satisfaisant le consommateur, l'éclaircissage des arbres est une étape primordiale.

De nouvelles substances actives ayant des pouvoirs éclaircissants ont été mises à jour afin de remplacer le mieux possible le carbaryl. C'est le cas de la métamitrone. Il s'agit d'un inhibiteur de photosynthèse agissant au niveau du photosystème PSII très couramment utilisé dans les stratégies de désherbage en culture de betteraves sucrières.

Toutefois, la métamitrone reste une molécule encore peu connue dans le milieu de la pomiculture, elle n'est officiellement homologuée en France que depuis le début de l'année 2015 et aucun essai n'a encore été effectué sur des grandes parcelles en France. De nombreuses zones d'ombres restent à éclaircir comme le stade d'application et le dosage à l'hectare optimal, la sensibilité variétale et l'incidence des conditions climatiques, comme la température, le rayonnement solaire et l'humidité relative sur l'efficacité de la substance active. C'est tout l'objet d'étude de ce rapport de fin d'étude.

Stades phénologiques du pommier
d'après Fleckinger (INRA)

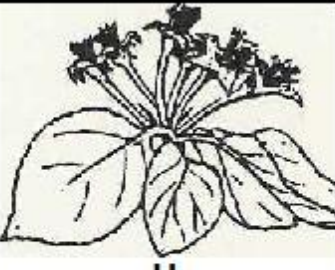
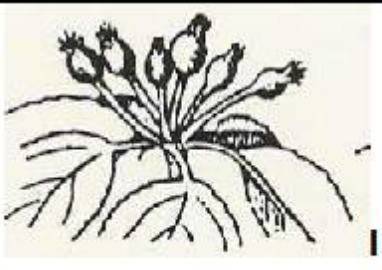
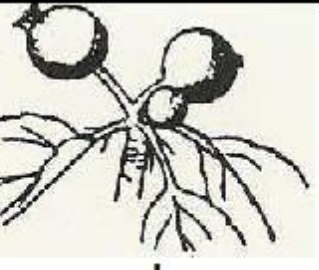
			
Bourgeon d'hiver	Bourgeon gonflé.	Gonflement apparent	
			
Apparition des boutons floraux		Les sépales laissent voir les pétales	
			
Première fleur	Pleine floraison	Chute des premiers pétales	
			
Chute des derniers pétales	Nouaison	Grossissement des fruits	

Figure 3 : Stades phénologiques du pommier (Fleckinger J., 1948)

I. Synthèse bibliographique autour de la maîtrise de la charge chez *Malus domestica* (Borkh.)

A. Cycle phénologique de *Malus domestica* (Borkh.)

Il existe deux échelles pour décrire les différents stades phénologiques du pommier. Au niveau européen on utilise l'échelle BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) alors qu'en France on privilégie l'échelle de Fleckinger. C'est cette dernière qui sera utilisée tout au long de ce travail. Dans cette échelle chaque stade de développement est symbolisé par une lettre allant de A à J. Cette hiérarchisation facilite grandement la planification des interventions culturales, dont la maîtrise de la charge.

1. Apparition de l'inflorescence

Vers la fin de l'hiver ou début du printemps, selon les conditions météorologiques et la variété, le bourgeon d'hiver correspondant au stade A (**Figure 3**) (Fleckinger J., 1948) va sortir de dormance (Mathieu *et al.*, 2011 ; Trillot *et al.*, 2002). A la sortie de cette première étape un gonflement des bourgeons peut être observé dans les semaines qui suivent (Stade B). A la fin de ce gonflement, un éclatement des bourgeons a lieu. On distingue alors l'extrémité des premières feuilles de l'année (Stade C). Au fil des jours les feuilles continuent de se séparer pour atteindre le stade C 3 ou plus communément appelé stade « oreilles de souris ». Le passage au prochain stade D correspond à l'apparition des boutons floraux. Par la suite, ces derniers vont progressivement s'écarter les uns des autres pour atteindre le stade D3 (« boutons verts »). Peu de temps après, les pétales deviennent visibles et les sépales commencent à s'ouvrir. Il s'agit du stade E ou « boutons roses ». Juste avant la pleine floraison il y a formation du stade dit « ballon » (stade E2-E3) où les fleurs forment une sorte de ballon avec leurs pétales (Fleckinger J., 1948 ; Mathieu *et al.*, 2011 ; Meier *et al.*, 2001 ; Trillot *et al.*, 2002). On distingue alors clairement l'inflorescence du pommier qui est un corymbe constitué le plus souvent de 5 à 6 fleurs.

2. La floraison

La floraison des pommiers est qualifiée de polycarpique, celle-ci se répétant chaque année contrairement aux espèces monocarpiques. La période où une fleur est complètement ouverte et fonctionnelle, de 2 à 10 jours, est appelée l'anthèse. La durée de cette dernière est variable selon les conditions climatiques et la variété (Mathieu *et al.*, 2011). La floraison est centrifuge et la première fleur à s'ouvrir est celle située en position centrale (stade F1). Cette avance par rapport aux fleurs périphériques permet à la fleur centrale d'avoir un accès préférentiel aux différents métabolites. Lorsqu'environ 50% des fleurs d'un arbre sont ouvertes, cela coïncide à la pleine floraison (stade F2). La floraison prend fin lorsque les pétales ont chuté (Meier *et al.*, 2001).

3. La Pollinisation

Concrètement la pollinisation commence à partir de la libération du pollen depuis les anthères jusqu'à son dépôt sur le stigmate (Mathieu *et al.*, 2011). Toutefois les fleurs de pommier sont autostériles. En d'autres termes le pollen d'une variété ne peut germer sur le stigmate de cette même variété. La pollinisation doit donc être allogame, c'est-à-dire utiliser au moins deux variétés distinctes. Le facteur variétal n'est pas le seul gage d'une bonne pollinisation.

Il est nécessaire d'avoir un vecteur pour déposer le pollen sur le stigmate. En règle générale ce rôle est pris par l'abeille domestique, elle représente 60% à 95 % de la faune pollinisatrice, mais tout autre insecte pollinisateur peut remplir cette tâche. Afin d'obtenir une bonne homogénéisation, des ruches sont installées dans les vergers pendant la période de floraison. Il est préférable d'en installer 4/hectare (Trillot *et al.*, 2002). Si les précautions ne sont pas prises pour une pollinisation optimale, les risques de voir des fruits déformés se développer sont augmentés (Brault *et al.*, 1995). Toutefois, la plupart du temps les vergers sont plutôt en situation de sur-pollinisation (Mathieu V. and Cayla M., 2012).

4. La Fécondation

Cette étape peut durer plus ou moins longtemps. C'est à l'ouverture de la fleur que les possibilités de fécondation sont à leur optimum. On y observe 84% de la nouaison (Trillot *et al.*, 2002). Ce phénomène consiste au dépôt d'un pollen compatible sur le stigmate de la fleur. Après hydratation le pollen va germer et croître sous la forme d'un tube pollinique pour atteindre le sac embryonnaire et l'ovule. Cette étape dure en moyenne deux jours si les températures sont optimales, entre 17 et 22°C. (Mathieu *et al.*, 2011). A ce niveau-là deux noyaux distincts sont libérés. Le premier féconde l'ovule donnant naissance à l'embryon, le second fusionne avec les cellules du sac embryonnaire pour former l'albumen de la graine.

5. L'Alternance

Ce mécanisme se manifeste par la production irrégulière de pommes d'une même variété d'une année sur l'autre sur le même verger. Il s'agit d'un héritage génétique du pommier sauvage, qui permettait à ce dernier de répartir au mieux les ressources entre les différents organes selon les années (Monselise and Goldschmidt, 1982). Concrètement l'année n le rendement peut être fort, alors que l'année $n+1$ celui-ci sera faible et ainsi de suite. Pour l'arbre il s'agit de passer d'une année de stress et de déficience en nutriments, à une année de stockage des réserves. L'alternance ne peut être contrôlée, et son effet diminué, que par l'intermédiaire de biorégulateurs (Mathieu *et al.*, 2011). Des facteurs endogènes, hormones de l'arbre, et exogènes sont à la base de ce processus. Ils sont liés aux carbohydrates, source de nourriture transmise aux fruits prioritairement n'en laissant qu'une quantité insuffisante pour l'induction florale entraînant une charge en fruits plus faible l'année suivante.

Les conditions climatiques ont un fort impact sur l'alternance et en particulier les périodes de gel. En effet, on passe ainsi d'une année avec une floraison très faible à nulle à une floraison excessive l'année suivante. Il en va de même dans les situations de stress hydrique et/ou de températures élevées. A l'inverse, des conditions climatiques optimales au moment de la pollinisation ou du début de grossissement des fruits (températures douces et peu de précipitations) conduisent à une charge en fruits importante la même année, puis une charge bien plus faible l'année suivante (Mathieu *et al.*, 2011).

L'intensité du phénomène d'alternance varie également en fonction de la variété. Certaines ont naturellement une production régulière quand d'autres sont irrégulières sur ce point de vue. Pour des variétés sensibles à l'alternance, sans interventions culturales, 90% des points de fructification ne retournent pas à fleur, alors que pour des variétés peu sensibles à ce phénomène il n'est que de 20% (Jonkers H., 1979).

D'autres facteurs influent également sur l'alternance comme la nature du porte-greffe, l'âge de l'arbre (gestion des fortes charges dans les premières années), du type de fructification, du stress environnemental comme la pression de certains pathogènes et ravageurs et de la conduite culturale.

En effet, pour ce dernier facteur certaines interventions humaines peuvent accentuer le processus, en particulier la sous ou surévaluation de la charge en début de saison. Un dispositif de pollinisation trop important, une alimentation azotée trop forte et une irrigation trop forte (stimule la croissance végétative au dépend des fruits) (Cripps J.E.L., 1981) impactent, d'une moindre manière, l'alternance des arbres.

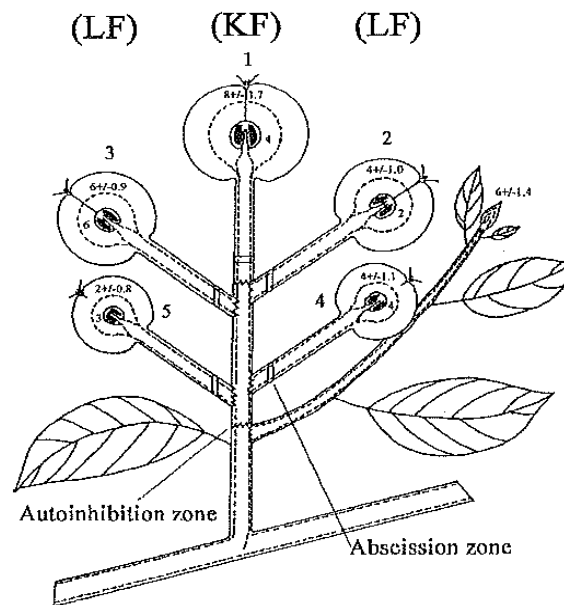
Maîtriser la charge des pommiers, c'est en partie maîtriser l'alternance. Bien que toujours à l'étude, plusieurs techniques ont vu le jour dans le but d'atténuer le mieux possible ce phénomène. Il s'agit de jouer sur le plan hormonal de l'arbre avec l'application foliaire d'hormones de synthèse dont la fréquence et la dose à l'hectare sont estimées selon que l'on soit en année « plus » ou « moins ». Un programme de taille et/ou d'extinction plus ou moins sévère en fonction de la charge des arbres peut également aider à gérer l'alternance. La gestion de la fertilisation azotée est également un élément à prendre en compte. Cette dernière ne doit pas être la même selon que la parcelle de pommiers se trouve en année « plus » ou « moins ». Dans le cas contraire il y a risque d'accentuation de l'alternance.

B. Les chutes naturelles chez *Malus domestica* (Borkh.)

Concernant le pommier, 3 séries de chutes naturelles ont été identifiées. La première se situe pendant la période de floraison juste avant que la phase de nouaison ne commence. Elle concerne les malformations des pièces florales et/ou les fleurs n'ayant pas été fécondées. Les causes de ce phénomène peuvent être rapportées aux conditions climatiques, à la physiologie de la plante et/ou à certaines pratiques culturales comme l'emploi de produits dessiccants (action qui brûle les pièces florales). Toutes ces causes amènent au même constat, dans chaque situation il y a une absence de fécondation qui conduit à une chute des fleurs. La seconde chute naturelle, et la plus importante, est celle qui prendra une place majeure dans ce rapport. Il s'agit de la chute physiologique appelée « chute de juin ». Elle se déroule du mois de mai à juin selon la variété étudiée et peut s'étendre jusqu'à juillet selon la zone géographique (Abruzzese *et al.*, 1995). Ce processus qui fait intervenir les hormones végétales se distingue en deux périodes. La première a lieu 20 à 30 jours après la pleine floraison et concerne les fruits ayant une mauvaise fécondation et ceux contenant des graines abortives. La seconde période se situe entre 35 et 40 jours après F2. Celle-ci concerne la chute des fruits les moins compétiteurs, c'est-à-dire ceux qui n'ont pas pu prélever les ressources mises à disposition (Mathieu *et al.*, 2011). Cette chute se traduit généralement par un rougissement du pédicelle. La dernière série de chute naturelle concerne la période juste avant récolte, environ un mois avant la maturation des fruits. Elle concerne les mêmes processus hormonaux que la chute physiologique de « juin », mais n'a pas un réel impact sur la charge global en fruits du pommier.

1. La chute physiologique du « mois de juin »

Ce phénomène se traduit par l'apparition d'une zone d'abscission au niveau du pétiole des fruits qui entraîne leur chute. Sur le plan cellulaire il s'agit d'une dégradation de la paroi des cellules constituée de cellulose et de composés pectiques. Ce sont les enzymes cellulase et polygalacturonase qui en sont responsables. Leur activité est régulée par le taux d'éthylène qui active l'expression des gènes codants. Plus ce dernier est élevé, plus l'activité enzymatique est importante. Dans le même temps, l'auxine, hormone végétale, inhibe l'expression de ces mêmes gènes. Ainsi la formation de zones d'abscission des pétioles ne peut se faire qu'en cas de faible taux d'auxine et dans le même temps d'une forte concentration d'éthylène.



Scheme of a “standard apple” fruit cluster. Numbers outside the fruit represent the ranking in PD hierarchy. Numbers inside the fruit give ng IAA export and seed number respectively. Note the influence of primigenic dominance and number of seeds on IAA export. Also, the bourse shoot tip contributes 6 ng of IAA to the total export of the cluster and thus ATA. Wavy lines indicate areas of ATA (taken from Bangerth, 2000).

Figure 4 : Illustration de la dominance hormonale entre les fruits d’un même corymbe (Bangerth F.K., 2000)

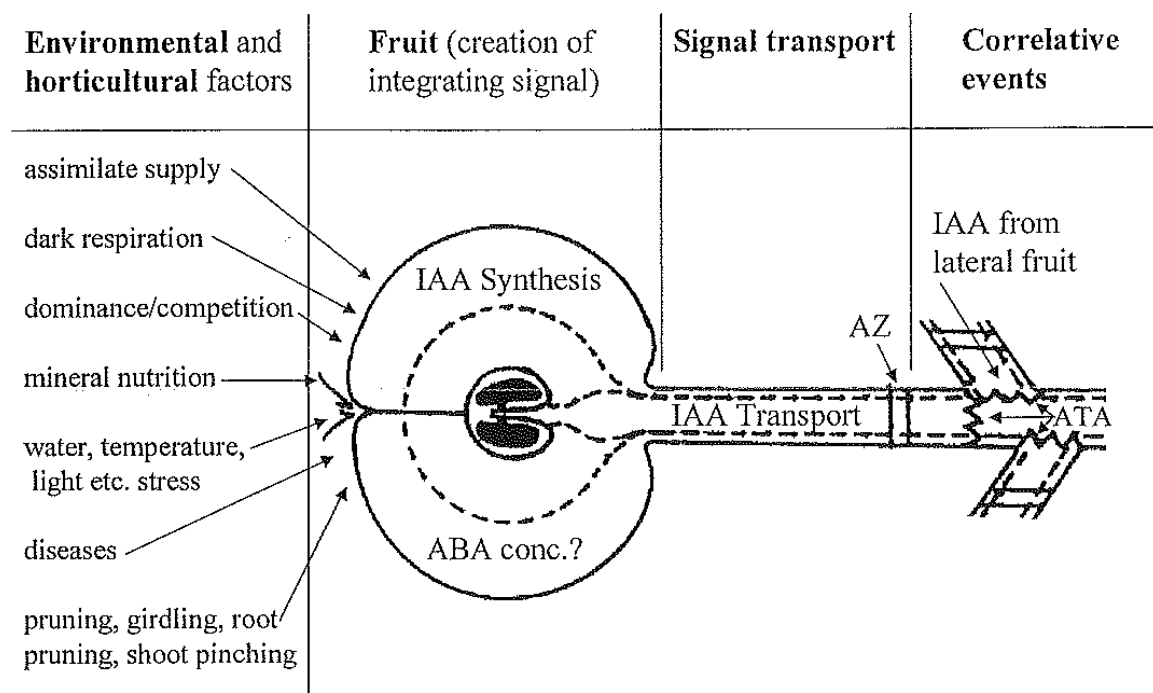


Figure 5 : Illustration des différents facteurs physiologiques et environnementaux impactant sur l’abscission du pétiole (Bangerth F.K., 2004)

Toutefois ces deux seuls facteurs ne peuvent expliquer tous les cas de chute physiologique. En effet, au début de la croissance des jeunes fruits, les taux d'auxines sont bien trop élevés et ceux d'éthylène trop faibles pour expliquer la formation de zones d'abscission au même moment. Des processus viennent donc s'ajouter à ceux déjà cités.

Selon Bangerth (2000) il y aurait une dominance hormonale entre les fruits d'un même corymbe et entre les fruits et jeunes pousses d'un même rameau. Concernant la compétition entre fruits d'un même corymbe, il s'agirait d'une dominance primigénique. Les fruits latéraux voient leur exportation d'auxine arrêtée ou freinée vers la zone de jonction entre les fruits et le rameau (**Figure 4**). Ainsi le processus est l'excès d'auxine qui serait à la base de l'activation de la zone d'abscission. La théorie de Bangerth est corrélée avec le fait qu'à ce stade de la croissance des pommes le taux d'éthylène est lui trop faible pour induire l'activation de cette zone d'abscission. Cette hypothèse se complète par l'influence d'autres facteurs se cumulant comme l'âge des fruits (au sein d'un même corymbe surtout), le nombre de pépins, plus il est important plus il inhibe la chute (production d'auxine et gibbérelline) (Yuan and Green, 2000), la distance et la vigueur des pousses de bourses ainsi que le nombre de fruits sur un même corymbe. Cette succession de facteurs confirme le fait que le fruit central possède un avantage naturel concernant la dominance hormonale. Toutefois il est possible que celle-ci se déplace vers un fruit latéral.

De plus, les jeunes pousses, rameaux et racines, sont prioritaires sur l'attraction des métabolites vis-à-vis des jeunes fruits dans les 40 jours après la pleine floraison et en particulier quand les conditions ne sont que faiblement lumineuses (Bepete and Lakso, 1998). Ainsi plus le nombre de fruits au début de la nouaison est important, plus le nombre de fruits chutés, à cause de cette compétition hormonale, sera important.

Selon Lakso *et al.* (2007) il s'agirait d'une compétition nutritionnelle entre les fruits qui serait responsable de la chute physiologique. De même qu'avec l'hypothèse de la dominance hormonale, le fruit central d'un corymbe aurait une force d'attraction ou « puits » des nutriments plus forte que les latéraux, car apparu avant ces derniers (**Figure 5**). Ce phénomène expliquerait en partie le fait que c'est le fruit central qui reste en général sur le corymbe après la chute physiologique du « mois de juin ». Une approche de modélisation du bilan carbone a d'ailleurs été utilisée pour identifier qu'il y a une forte probabilité que la production de fruits soit limitée par le développement d'un déficit de glucide dans l'arbre au cours de la période de 2 à 3 semaines après la période de pleine floraison (Lakso *et al.*, 1999). Lorsque l'on se situe dans des conditions favorables à la mise à disposition de carbohydrates pour toutes les jeunes pommes en formation, cela inhibe la chute. Les conditions climatiques ont une influence non négligeable sur la production de carbohydrates par la plante. Des températures fraîches et un bon rayonnement ne sont pas des situations favorables à la chute. En effet dans ces conditions de fraîcheur, les fruits sont peu demandeurs de carbohydrates et dans le même temps un ensoleillement généreux stimule leur production. Un temps chaud et nuageux est la situation climatique optimale pour la chute des fruits.

C'est dans cette compétition inter-floral ou fruits avec d'autres puits-sources au sein de l'arbre fruitier que l'éclaircissage chimique vient chercher sa base. C'est en stimulant ce phénomène naturel qu'il devient possible de contrôler la charge en fruits au fil des années (Bangerth F.K., 2003). D'ailleurs il a été montré que sans l'identification d'une compétition hormonale et/ou nutritionnelle entre les fruits, ces derniers sont moins susceptibles de chuter même avec l'appui d'éclaircissants chimiques (Dal Cin *et al.*, 2005).

2. Facteurs influençant la chute physiologique

Bien que les feuilles soient des pôles d'attractions bien plus forts des métabolites que les jeunes fruits, la présence des premières semble empêcher la formation de zone d'abscission des pétioles de ces derniers (Quinlan and Preston, 1971). En effet la suppression de feuilles de rosettes conduit à favoriser la chute des jeunes fruits (Proctor and Palmer, 1991).

Les conditions climatiques sont elles aussi bien présentes concernant l'influence sur la chute physiologique. Selon Byers et al. (1991), une période continue de trois à quatre jours d'une couverture nuageuse pendant la période de nouaison induit l'abscission des jeunes fruits et réduit la charge des arbres de 83% à 93%. Les températures nocturnes de plus de 20°C stimulent elles aussi la chute physiologique. En effet dans ces conditions la croissance des pousses végétatives est accentuée et dans le même temps une augmentation de la consommation des assimilats, ce qui accentue la compétition nutritionnelle au détriment des jeunes fruits (Byers, 1984, 1985, 2002).

Cette différence de luminosité se retrouve également au sein de l'arbre. Les rayons lumineux sont en partie voilés par le haut du feuillage qui filtre certaines longueurs d'ondes comme celles correspondant aux couleurs bleu et rouge claire et en augmentant la part de rouge foncée. Or cette dernière n'étant que très peu absorbée par les végétaux (Frankhauser *et al.*, 2006), elle modifie les transferts d'auxine et sa synthèse. De plus cette réaction en chaîne favorise la croissance des pousses végétatives qui déséquilibre la compétition nutritionnelle au détriment des fruits. La conséquence de cette différence de captage de la luminosité est une charge en fruits dans le bas de l'arbre plus faible que celle située dans le haut du feuillage des pommiers (Mathieu *et al.*, 2011).

Les pratiques culturales comme l'apport excessif d'engrais azoté peuvent entraîner une augmentation de la chute des jeunes fruits. En effet cela favorise la croissance végétative qui a pour conséquence de stimuler la compétition nutritionnelle au détriment des fruits (Quinlan et Preston, 1971). A l'opposé, des techniques comme l'arcure peuvent empêcher la formation d'une zone d'abscission au niveau des pétioles (Sanyal et Bangerth, 1998).

C. La charge et sa maîtrise

Avec l'éclaircissage manuel seul, les fruits ne sont pas enlevés suffisamment tôt dans la saison pour empêcher notamment les phénomènes d'alternance l'année suivante (Webster A.D., 2002 ; Williams K.M., 1998). Pour casser ce phénomène il faut intervenir plus précocement, mais cette pratique est également très onéreuse pour le producteur. D'où, depuis maintenant plusieurs décennies, la mise en place de recherches pour la maîtrise de cette charge et de l'alternance selon des méthodes d'éclaircissage mécanique et chimique.

1. L'éclaircissage mécanique

L'utilisation de ce genre d'outils permet de ne pas dépendre autant qu'avec des éclaircissants chimiques des conditions climatiques. De plus la réglementation autour de l'utilisation de produits issus de l'industrie agro-pharmaceutique étant de plus en plus drastique, le développement de ce genre de technique est devenu très intéressant dans la filière de la pomiculture.



Figure 6 : Darwin tractée à l'avant d'un tracteur (réalisation personnelle)



Figure 7 : Démonstration d'Electro Flor sur pommiers (*obstwein-technik*)

a) *La Darwin*

Inventé dans les années 90 en Allemagne par Hermann Gessler dans le but de palier aux interdictions de certaines substances, la Darwin (**Figure 6**) est un axe motorisé tournant sur lui-même et équipé de nombreux fils moulés d'une longueur de 60cm aujourd'hui commercialisée par Adolf Betz – Fruit Tec (Bertschinger *et al.*, 1996). On peut mettre au maximum 6 barrettes de 9 fils sur l'axe. La hauteur de la machine peut varier entre 2 et 3 mètres et est le plus généralement fixée à l'avant du tracteur. La rotation sur l'axe de la Darwin peut aller de 350 à 400 tours/min, combinée à une vitesse de tracteur de 8 à 18km/h. Le passage de la Darwin dans les rangs de verger peut se faire du stade C3-D au stade G. Mais selon plusieurs essais menés dans les différents centres d'expérimentations régionales et Ctifl, le stade phénologique optimal pour appliquer cette machine est E2 (ballon) et à une vitesse de rotation comprise entre 240 et 300 tr/min (Bouniol *et al.*, 2012). Bien que les conditions climatiques lors du passage de la Darwin ne soient pas primordiales, des observations ont montré que pendant un épisode pluvieux ou avec un feuillage humide l'efficacité de l'éclaircissage était plus importante qu'en conditions sèches (communication personnelle, Jean-François Saint-Hilary). L'un des atouts majeurs de cette machine éclaircissante est le temps de travail ne varie que d'une à trois heures par hectare (Vaysse *et al.*, 2013). De manière globale, l'efficacité de l'éclaircissage avec la Darwin dépend à la fois de la conduite de l'arbre, de la variété et de la vigueur de celui-ci (Schupp *et al.*, 2008).

b) *L'Electro'flor*[®]

Utilisé également pour un éclaircissage avant et/ou pendant la floraison, cet appareil se distingue surtout de la Darwin par le fait qu'il soit portable. Il s'agit d'une longue perche (jusqu'à 2 mètres), comprenant un nombre de fils de longueur modulable, selon la variété, situés uniquement au bout de celle-ci (**Figure 7**). Cette partie contenant les fils tourne sur elle-même à l'aide d'un moteur électrique à une vitesse pouvant aller de 500 à 2000 tr/min (Mathieu *et al.*, 2011). Cet outil a pour objectif de diminuer le taux de floraison, jusqu'à 50% de fleurs en moins, mais a pour effet négatif de couper, au moins en partie, les feuilles de rosette. Cela a pour conséquence de diminuer le retour à fleur pour l'année suivante. Autre inconvénient, le temps de travail avec cette machine va de 20 à 50h/ha en fonction des objectifs souhaités, de la variété traitée et de la conduite des arbres.

c) *L'Eclairfel*

Il s'agit de la machine éclaircissante la plus récente aujourd'hui (**Figure 8**). Elle a été conçue par le Ctifl en 2009. Bien qu'elle ne soit pas encore très répandue chez les producteurs, des améliorations sont continuellement apportées. Cet appareil est construit dans le but de palier les défauts de la Darwin, notamment concernant l'éclaircissage mécanique en profondeur dans les rangs. Le principe de fonctionnement est le même que pour la Darwin, sauf que l'engin est constitué de deux tambours superposés composés de doigts, eux-mêmes composés de fils. Ici ce sont les doigts qui tournent à une vitesse allant de 800 à 1000 tr/min. L'ensemble de la machine est positionné sur un châssis indépendant du tracteur et est actionné via un système hydraulique. Les premiers essais sont au moins aussi efficaces qu'avec la Darwin, mais montrent tout de même une efficacité accrue dans l'éclaircissage dans la profondeur de la haie fruitière.

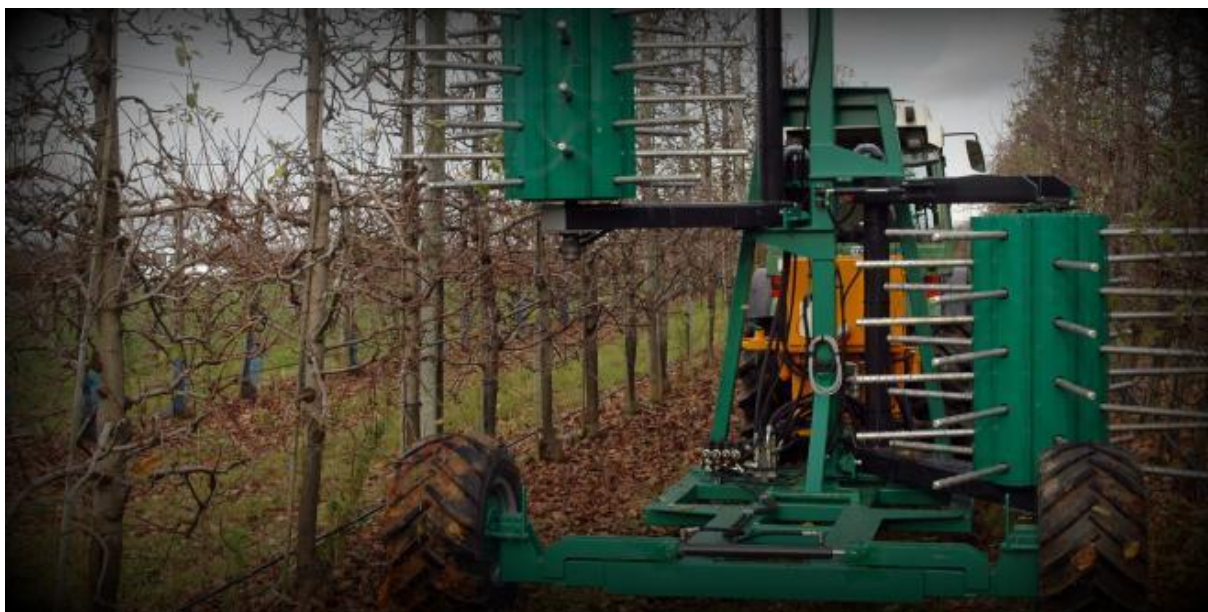


Figure 8 : Eclairfel en démonstration dans un verger de pommiers (CTIFL)



Figure 9 : Démonstration de l'Eclairvale au CEFEL (réalisation personnelle)

d) *L'Eclairvale*

Il s'agit d'une machine qui est déjà utilisée pour les pruniers et les pêchers avec des résultats encourageants. Inventée par Jean-Pierre Villanou elle est fixée à l'arrière du tracteur via une structure en métal reposant sur une roue (**Figure 9**). L'Eclairvale comporte d'environ 2000 barres composées de fibre de verre d'une longueur de 1.36m. Ces dernières tournent autour d'un axe entraînées uniquement par le frottement sur les branches des arbres éclaircies. Le principe de cette machine est de faire tomber les fruits de manière non sélective lorsque les barres viennent frotter l'arbre fruitier. Il s'agit pour l'instant d'un prototype en particuliers concernant son usage pour les pommiers, sur lesquels les premiers essais ont été réalisés au CEFEL seulement depuis cette année 2015. De nombreux points restent à approfondir. La vitesse d'avancement optimale du tracteur, le stade de développement physiologique des pommes auquel doit se faire l'éclaircissage, le nombre de passages à effectuer sur une saison sont les domaines pour lesquels aucune réponse n'existe pour l'instant.

Ces techniques d'éclaircissage mécanique apportent des solutions nouvelles et prometteuses dans la maîtrise de la charge en fruits des pommiers. Ce qui est une bonne nouvelle vu les nouvelles législations autour de l'interdiction de plusieurs substances utilisées dans l'éclaircissage chimique depuis quelques années. Toutefois des améliorations sont toujours à apporter. Un des problèmes persistant est le fait que ce genre d'éclaircissage peut entraîner une baisse du retour à fleur l'année suivant l'intervention et une récolte moindre. De plus l'utilisation de ces techniques seules ne suffit pas à maîtriser correctement la charge en fruits. C'est pourquoi l'apport de substances chimiques entraînant une chute des fleurs et/ou des fruits reste toujours d'actualité et continue d'offrir des alternatives aux producteurs.

2. *L'éclaircissage chimique*

Il existe deux sources majeures dans la variabilité de l'efficacité de l'éclaircissage chimique : les conditions d'aspersion du produit et la sensibilité de l'arbre (Stover and Greene, 2005). Les conditions d'aspersion concernent la nature et la concentration de l'éclaircissant, le temps de séchage, les conditions environnementales au moment de l'application, la manière d'asperger le produit et la surface couverte. Toutefois la température et l'humidité se compensent quant à leur influence sur le temps de séchage et l'absorption (Robinson *et al.*, 2011)¹. Pour la sensibilité de l'arbre, rentre en compte la charge en fruits au moment de l'application, la superficie des feuilles, l'offre et la demande en carbohydrates au sein de l'arbre, la température, le rayonnement et la vigueur de l'arbre (Williams, 1979 ; Williams and Edgerton, 1981 ; Greene, 2002).

Les conditions optimales pour que l'efficacité de l'éclaircissant chimique soit des meilleures sont : une température élevée, surtout la nuit cela coïncide avec une respiration forte des jeunes fruits, une faible luminosité (nuageux) pour avoir une faible activité photosynthétique, une charge en fruits initiale importante (compétition entre les fruits et les pousses végétatives pour les carbohydrates élevée) (Byers, 2002 ; Kondo *et al.*, 1987 ; Kondo and Takahashi, 1987).

a) *Les molécules éclaircissantes aujourd'hui utilisées*

(1) Eclaircissage chimique pré-floral :

Une matière active est principalement utilisée pendant la période précédant la pleine floraison. Il s'agit de l'éthéphon, acide 2-chloroethylphosphorique ($C_2H_6ClO_3P$), dont le but est de faire diminuer le taux de nouaison. Lorsque l'éthéphon est hydrolysé, une libération d'éthylène se propage accompagnée de CO_2 et de phosphates. Or cet éthylène (C_2H_4) est une substance active qui, à une dose suffisante, peut induire l'activation de la zone d'abscission des jeunes fruits (Dennis, 2000). De plus cette molécule diminuerait le transport ainsi que la synthèse d'auxine, inhibitrice de la chute physiologique, et la force puits des fruits pour une durée pouvant aller de 2 à 3 jours (Untiedt et Blanke, 2001). Le stade phénologique optimal d'application se situe entre E et E3 avec un effet dose, plus la concentration est forte plus la chute est importante, avec une hygrométrie élevée et des températures allant de 10 à 12°C (Mathieu, 2005). Toutefois cette molécule reste assez difficile à utiliser de par la réponse des arbres qui peut varier de manière importante d'année en année. En effet, on peut passer d'une situation de sur-éclaircissage et quasiment pas de chute observée de fruits (Wertheim, 2000 ; Mathieu, 2005, 2011). Selon une étude, l'application pendant la période pré-florale d'éthéphon sur des variétés de pommiers réputées alternantes et produisant des fruits pygmées est bénéfique et améliore le retour à fleur (Widmer, 2008).

(2) Eclaircissage chimique post-floral :

L'éthéphon peut également être appliqué aux arbres après la pleine floraison, le mode d'action est alors le même qu'en période pré-florale (Koen et Jones, 1985). C'est entre 30 à 42 jours après F2, que la molécule peut être répandue sur le feuillage pour « rattraper » un éclaircissage jugé trop faible. A ce jour il s'agit de la seule matière active homologuée agissant efficacement dans ce genre de situation (Wertheim, 1973 ; Yuan, 2007). On note que la réponse à cet éclaircissant dépend surtout de la variété en question (Mathieu *et al.*, 2011). A ce stade l'éthéphon a également à un effet positif sur le retour à fleur pour l'année suivante (Schmidt *et al.*, 2009).

Les hormones de synthèses impliquées dans la régularisation de la charge :

L'**acide naphthalène acétique** (ANA) est une auxine de synthèse considérée comme étant un éclaircissant sélectif. En effet selon Black *et al.* (1995) lorsqu'appliquée sur des corymbes ne comprenant qu'un seul fruit (central ou latéral), l'ANA n'est pas efficace. Elle interfère dans le transport et la synthèse de nutriments et de l'auxine endogène allant des feuilles vers les fruits, mais également dans la relation source/puits avec une répartition des assimilats défavorables aux fruits (Mathieu *et al.*, 2011). Schneider et Lasheen (1973) a montré que l'ANA perturbait le transport de sucres réducteurs des feuilles vers les fruits ainsi que leur quantité dans ces derniers. Le mode d'action de cette hormone de synthèse se résume à une diminution de la photosynthèse tout en augmentant la respiration nocturne, de photoassimilats, diminution également de transport et de synthèse d'auxine, tout cet enchainement de processus pour arriver à l'activation de la zone d'abscission et à la chute du fruit (Untiedt et Blanke, 2001). En post-floraison, cette molécule doit être appliquée entre les stades 4 et 14 mm de diamètre des jeunes fruits.

Selon Schönherr (2000) l'efficacité d'éclaircissage de l'ANA dépend des conditions (température et humidité relative) lors de l'application de la substance.

Plus l'humidité relative est importante, meilleure est la pénétration du produit dans les feuilles. Concernant la température, l'ANA pénètre bien mieux lorsqu'il fait 20°C plutôt que 10°C. Par ailleurs il est conseillé d'appliquer cette hormone de synthèse dans des conditions nuageuses. En effet, 75 à 80% de l'ANA peut être dégradée en situation de plein de soleil (Blake, 1996). Si l'ANA est appliquée à un stade tardif, >65 mm du diamètre de la pomme, il y a des risques de diminution de calibre par rapport à des pommes non traitées (Schumacher *et al.*, 1978 ; Bukovac *et al.*, 2008). Cette constatation serait due à un ralentissement de croissance des fruits suite à l'application de cet éclaircissant (Lakso *et al.*, 2001 ; Bukovac *et al.*, 2008). Mais globalement il n'y a pas d'amélioration du calibre significative avec l'usage d'ANA seule par rapport à des fruits non traités (Bukovac *et al.*, 2008).

La **naphtyl-adétamide** (NAD) est également une hormone de synthèse de l'auxine, même si celle-ci est considérée par de nombreux auteurs comme étant moins efficace que l'ANA (Mathieu *et al.*, 2011). La NAD implique surtout une réduction de la synthèse et/ou du transport d'auxine du fruit vers la zone d'abscission (Ebert et Bangerth, 1982). Une réduction, bien que légère, de l'assimilation de carbone a également été observée sur Golden Delicious par Schumacher *et al.* (1993). Cette hormone de synthèse ne sera pas plus développée par la suite car elle n'a pas fait partie des éclaircissants testés lors des différentes expérimentations.

La **benzyladénine** (BA) constitue une cytokinine de synthèse, dont le rôle premier est de stimuler la division cellulaire mais également d'avoir une influence sur l'éclaircissage des pommiers (Buban, 2000). Bien que son mode d'action ne soit pas tout à fait défini, plusieurs hypothèses ont été émises. La BA entraîne une succession de mécanismes dont selon Green *et al.* (1992) une production d'éthylène au sein du fruit dès le lendemain de l'application. Toutefois, cette production d'éthylène ne semble pas être la principale cause de la chute des fruits (Mathieu *et al.*, 2011). Cette hormone de cytokinine entraîne également une augmentation de la respiration nocturne, surtout par des températures élevées, processus stimulant une chute de l'activité photosynthétique (Yuan et Greene, 2000). Toujours selon le même auteur c'est ce facteur température qui aurait la plus grande influence sur la variation d'efficacité d'éclaircissage d'une année sur l'autre. L'application de l'éclaircissant BA résulte en une chute du taux de carbohydrates au sein des jeunes fruits, suite à une baisse des photosynthats disponibles pour les fruits. Selon une étude de l'expression des gènes, un blocage du développement embryonnaire coïnciderait avec un sévère déficit en carbohydrates après l'application de BA. Tout cela entraîne une diminution du transport d'auxines via le pédoncule et une augmentation de la sensibilité de la zone d'abscission à l'éthylène, conduisant dans certains cas à l'activation de cette zone (Botton *et al.*, 2011). La benzyladénine enclenche la chute des fruits au même moment que celle naturelle, mais amplifie cette dernière. Contrairement à l'ANA et d'après Greene et Autio (1990) la BA est un éclaircissant non sélectif. La période d'application optimale de cet éclaircissant se situe entre 10 et 12 mm de diamètre du fruit (Bound *et al.*, 1993 ; Greene *et al.*, 1989, 1993).

Toutefois, selon le Groupe de travail national éclaircissage (2009) cette plage peut démarrer dès 8 mm avec des résultats tout aussi satisfaisants. Si la BA est appliquée plus avant 8 mm ou après 12 mm l'efficacité d'éclaircissage a de grandes chances d'être faible voire nulle. Lorsque l'on mélange de l'ANA et de la BA dans une même cuve et que l'on applique le tout sur les arbres fruitiers dans le but de diminuer la charge, l'efficacité d'éclaircissage est bien meilleure par rapport aux substances seules. Toutefois, Mathieu *et al.* (2011) ajoutent que l'utilisation de cette formule sur des variétés sensibles aux fruits pygmées augmente cette caractéristique.

b) Focus sur la métamitrone

La métamitrone, herbicide triazinone, est un inhibiteur systémique du photosystème II (PSII) qui agit en bloquant le transfert d'électrons entre les quinones primaires et secondaires du PSII, ce qui le différencie des molécules éclaircissantes précédentes qui sont des hormones végétales de synthèse (Abbaspoor *et al.*, 2006). Cette molécule est largement utilisée comme herbicide dans les cultures de betteraves. Toutefois plusieurs études récentes ont montré que l'application foliaire de métamitrone sur des pommiers entraînait une diminution de la charge de ces derniers (Clever, 2007 ; Deckers *et al.*, 2010 ; Dorigoni et Lexxer, 2007 ; Lafer, 2010). Le mode d'action de cette substance peut se traduire par l'interruption de transport d'électrons photosynthétique qui inhibe la production de l'adénosine 5'-triphosphate (ATP) et la fixation de carbone. Si cette interruption est permanente, la mort de la plante est causée par la peroxydation lipidique, la protéolyse et la dissociation des complexes protéine-pigment de PSII en raison du stress oxydatif induit par la lumière (Abbaspoor *et al.*, 2006). Finalement, l'action de la métamitrone peut être assimilée à l'ombrage des pommiers, qui entraîne une faible distribution des assimilats vers les pousses et les fruits et provoque la chute de ces derniers (Kockerols *et al.*, 2010). Le stade d'application de cet inhibiteur de la photosynthèse se situerait selon plusieurs études dans une plage allant d'un diamètre de 10 mm à 12 mm (Basak, 2011 ; Clever, 2007 ; Deckers *et al.*, 2010 ; Dorigoni et Lexxer, 2007 ; Lafer, 2010). Toutefois, des essais menés par le CEFEL et le groupe national d'éclaircissage sur plusieurs années n'ont pas démontré qu'une application de la métamitrone était plus efficace aux stades 8-10mm qu'au stade 10-12mm et inversement. L'efficacité de cette nouvelle molécule, lorsqu'utilisée à un développement plus précoce (6-8mm) n'a pas été testée (Compte rendu CEFEL 2013 et 2014). Lafer (2010) précise que la métamitrone est d'autant plus efficace que l'on applique une même dose à l'hectare en plusieurs fois plutôt qu'en une seule. Mais Clever (2007) tempère cela en ajoutant qu'une seule application de la substance suffit pour obtenir un éclaircissage suffisant. Une deuxième application conduisant à un phénomène de sur-éclaircissage. L'influence de cet herbicide sur le système photosynthétique de la plante n'est pas permanente. En effet, 5 jours après l'application de la métamitrone sur les arbres fruitiers, le PSII retrouve la même activité qu'avant le passage de cet éclaircissant (McCartney and Obermiller, 2012). Un des points importants au sujet de la métamitrone, et qui en fait une solution très intéressante pour la filière, est qu'elle serait efficace sur un large éventail de variétés différentes aux contraires d'autres hormones de synthèse comme l'ANA ou la BA (Dorigoni et Lexxer, 2007).

Problématique :

Dans un contexte de production de la pomme toujours plus pointu et précis, l'arrivée d'une nouvelle molécule éclaircissante, la métamitrone, amène deux interrogations majeures.

Quel est l'impact des facteurs climatiques, températures, luminosité et humidité relative, sur l'efficacité de l'éclaircissage de la métamitrone ?

De quelle manière peut-on intégrer la métamitrone dans une stratégie la plus optimale possible de la maîtrise de la charge sur les variétés Ariane, Gala et Fuji ?

II. Objectifs de l'étude sur l'intégration d'une nouvelle molécule dans une stratégie de maîtrise de la charge du pommier : la métamitronne.

Les essais menés par le CEFEL autour de la métamitronne peuvent se distinguer en deux groupes. Le premier est constitué d'essais sur micro-parcelles réalisés uniquement sur le site du CEFEL situé à Montauban. Le second par des tests effectués sur grandes parcelles à la fois sur le site du CEFEL et chez des producteurs dont les exploitations se situent sur les départements du Tarn-et-Garonne, Lot-et-Garonne et de la Dordogne. La maîtrise de la charge en fruits des pommiers à l'aide de substances de synthèse n'est pas une pratique nouvelle. Toutefois avec l'interdiction récente de produits efficaces, les résultats obtenus avec l'éclaircissage chimique actuel restent aléatoires. En particulier sur la production de fruits pygmées dont la part sur la récolte finale reste trop importante. L'arrivée d'une nouvelle molécule avec des caractéristiques prometteuses comme la métamitronne est une aubaine pour les producteurs. D'où la nécessité pour une station d'expérimentation comme le CEFEL de réaliser plusieurs essais afin de guider au mieux les professionnels de la filière sur l'emploi de ce nouvel éclaircissant.

Pour les essais menés sur micro-parcelles, plusieurs objectifs sont à atteindre :

- Déterminer s'il existe avec l'emploi de la métamitronne des différences d'efficacité sur les variétés testées : Gala, Ariane et Fuji.
- Mettre en évidence la dose à l'hectare de métamitronne optimale à employer, le nombre d'application nécessaire pour obtenir un éclaircissage efficace et à quel stade de développement du fruit le produit doit-il être appliqué.
- L'application de métamitronne, seule ou en mélange avec d'autres éclaircissants, a-t-elle un impact significatif sur l'augmentation du calibre des pommes par rapport à des fruits non traités et d'autres traités avec des éclaircissants déjà utilisés comme l'ANA ou la BA.
- Savoir si la métamitronne présente des résultats plus intéressants en application seule ou en association avec d'autres éclaircissants comme l'ANA et la BA.
- Déterminer si les conditions météorologiques, températures journalière et nocturne, le rayonnement solaire quotidien et l'humidité relative, lors de l'application du traitement et dans les quelques jours qui suivent ont une influence sur l'efficacité d'éclaircissage de la métamitronne.
- Le CEFEL réalise des essais depuis plusieurs années, une comparaison entre 2015, 2014 et 2013 est donc possible pour mettre en évidence un effet année de la métamitronne.

Les essais réalisés sur les grandes parcelles chez des producteurs ont pour premier objectif de confirmer ou non les résultats et conclusions obtenus sur micro-parcelles. Le principal intérêt de ces essais est de mettre en évidence s'il est judicieux pour les pomiculteurs d'intégrer la métamitronne dans une stratégie d'éclaircissage en comparaison à l'utilisation d'éclaircissants déjà utilisés.

L'objectif final étant de mettre au point une stratégie d'éclaircissage optimale, intégrant la métamitronne et les conclusions tirées des essais réalisés ci-dessus, pour chaque variété testée au CEFEL, à savoir Gala, Ariane et Fuji.

III. Présentation et objectifs des essais menés au CEFEL et chez les producteurs

A. L'introduction de la métamitronne dans une stratégie d'éclaircissage

A la suite de l'interdiction de la substance active éclaircissante Carbaryl, trouver une alternative est devenue une priorité pour les professionnels de la pomiculture. Depuis quelques années la métamitronne est présentée comme étant une solution sérieuse de substitution dans le domaine de réduction de la charge des pommiers (Clever, 2007 ; Deckers et al., 2010 ; Dorigoni and Lexxer, 2007 ; Lafer, 2007). Elle vient d'ailleurs d'être officiellement homologuée au début de l'année 2015. Il s'agit d'une molécule inhibitrice de photosynthèse qui agit au niveau du PSII. Cet herbicide triazinone systémique agit en bloquant le transfert d'électrons entre les quinones primaires et secondaires du PSII. Ce qui entraîne l'interruption de production d'ATP et la fixation de carbone (Abbaspoor *et al.*, 2006). Ces différentes inhibitions successives ont pour effet de diminuer le taux de carbohydrates disponible pour chaque fruit, stimulant ainsi la compétition entre les jeunes pousses et fruits et favorables à ces premiers et aux fruits les plus gros (Bepete and Lakso, 1998 ; Lakso *et al.*, 1999). Bien que ce produit soit aujourd'hui homologué depuis le premier trimestre de l'année 2015, des incertitudes demeurent notamment sur la dose optimale à employer, du stade de développement physiologique des pommes, de la sensibilité variétale, de la sensibilité du produit face aux éléments climatiques et les résultats sur grande parcelle qui demeurent assez flous (aucun essai réalisé en France).

B. Les essais intégrant l'utilisation de métamitronne au CEFEL pour l'année 2015

1. Objectif de l'essai

L'objectif de cet essai est ici de déterminer des trois variétés testées (Gala, Ariane et Fuji) s'il y a une différence de sensibilité significative à la métamitronne. Le but est également de déterminer un stade de développement physiologique et une quantité hectare optimaux d'application de la substance active selon la variété observée. Enfin comme cet essai réalisé au CEFEL en micro-parcelle s'étale sur plusieurs années, il sera intéressant de comparer les conditions climatiques de chaque année testée afin de constater si une sensibilité de la métamitronne à certaines conditions climatiques apparaît.

2. Caractéristiques et conduite des parcelles

Les trois parcelles suivies se trouvent sur le site de Capou du CEFEL à proximité de Montauban (82000). Chaque parcelle est constituée d'une variété principale et d'une autre secondaire, pollinisatrice, dont on ne tiendra pas compte par la suite. La conduite des arbres se fait exclusivement en axe ce qui permet d'avoir des lots homogènes entre eux. Les caractéristiques des parcelles de chaque variété sont données dans le **Tableau 1**. Les essais se font sur 4 rangs orientés parallèlement les uns à la suite des autres sur une même parcelle. Il n'y a pas d'adaptation en fonction des modalités réalisées.

Tableau 1: Caractéristiques et conduite des parcelles testées

Variété	Ariane	Fuji	Gala
Porte-greffe	Pajam 1	Pajam 1	NAKB
Mode de conduite	axe	axe	axe
Filets paragrêle	oui	oui	Oui
1 ^{ère} feuille	2005	2007	2009
Densité	4*1.2m	4*1.2m	4*1m
Nombre d'arbre/ha	2083	2083	2500
Fertilisation	Complet + apport azote	Complet + apport azote	Complet + apport azote
Irrigation	Micro aspersion sous frondaison	Micro aspersion sous frondaison	Micro aspersion sous frondaison
Date de pleine floraison	11/04/2015	14/04/2015	13/04/2015

Tableau 2: Essai post-floraison 1 : Efficacité de stratégies intégrant la métamitrone - Verger CEFEL FUJI 2015

	Diamètre du fruit et date d'application du traitement	
	6 - 8 mm/ 30 avril 2015	8 - 10 mm/ 05 mai 2015
T1	Témoin non traité	
T2	6-BA	6-BA
T3	Métamitrone 330ppm	Métamitrone 330ppm
T4	6-BA	Métamitrone 330ppm
T5	Métamitrone 330ppm	6-BA
T6	6-BA + Métamitrone 330 ppm	6-BA + Métamitrone 330ppm
T7	ANA+ 6-BA	Métamitrone 330ppm

Dose ANA= 15 ppm ; 6-BA= 100 ppm

Tableau 3: Essai post-floraison 2: stratégies d'éclaircissage intégrant la métamitrone - CEFEL – ARIANE 2015

	Diamètre du fruit et date d'application du traitement	
	6 - 8 mm/ 30 avril 2015	8 - 10 mm/ 05 mai 2015
T1	Témoin non traité	
T2	Métamitrone 330ppm	Métamitrone 330ppm
T3	ANA+ 6-BA	6-BA
T4	ANA+ 6-BA	Métamitrone 330ppm
T5	Métamitrone 330ppm	6-BA

Dose ANA= 15 ppm ; 6-BA= 100 pmm

3. La métamitronne intégrée dans une stratégie d'éclaircissage propre à chaque variété

Comme illustré dans le **Tableau 2** la modalité T2 représente la stratégie utilisée classiquement pour la variété Fuji et l'emploi de benzyladénine à deux stades : 6-8mm et 8-10mm. La métamitronne est appliquée de manière alternative avec la benzyladénine soit au premier soit au second stade pour les modalités T4 et T5. En T3 la métamitronne est mise aux deux stades. La mise en place de ces 4 modalités permet de cibler le ou les stades d'applications optimaux de la métamitronne pour l'éclaircissage de pommier. Tant sur le point de vue charge en fruits des arbres que sur la qualité de ces derniers. Afin de compléter ces tests, pour la variété Fuji, la métamitronne et la benzyladénine sont appliquées en mélange sur les deux stades (6-8mm et 8-10mm) en T6. La modalité T7, application d'un mélange (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivi de métamitronne à 330 ppm à 8-10mm, est réalisée afin de comparer une même combinaison d'éclaircissants sur les trois variétés Fuji, Ariane et Gala et d'en évaluer l'efficacité. Cela permettra de mettre en évidence les différences variétales de réponse à l'éclaircissant métamitronne. Le plan de parcelle de cet essai est visualisable en **Annexe II**.

Pour les variétés Ariane et Gala, la stratégie d'éclaircissage type est une application en mélange de (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivi de 6-BA à 8-10mm. Cette combinaison d'hormones de synthèse est représentée pour Ariane dans le **Tableau 3** avec T3 et dans le **Tableau 4** avec T3 pour Gala. Une double application de métamitronne à ces deux stades à 330 ppm est effectuée en T2 également pour les deux variétés. Concernant Ariane, une application de métamitronne sera faite à 6-8mm suivie de 6-BA à 8-10mm en T5 et inversement en T4. Pour la variété Gala, l'effet dose à l'hectare de métamitronne est également testé. Les plans des essais des variétés Ariane et Gala sont respectivement présents dans les **Annexes III** et **IV**.

En T4 et T5 du **Tableau 4**, on a un mélange de (ANA+6-BA) à 6-8mm suivi de métamitronne à 9-10mm. Mais pour la T4 la quantité à l'hectare est de 247,5 ppm et pour la T5 de 330 ppm. Pour compléter ces modalités, la métamitronne est appliquée en deux fois en faisant également varier la quantité finale à l'hectare pour T6, T7 et T8. Pour les trois modalités une première application à 6-8mm du mélange (ANA+6-BA) est effectuée suivie de deux applications de métamitronne à 9-10mm et 10-12mm. Pour T6 ces deux applications sont à la dose de 165 ppm. Pour T7, la première sera 247,5 ppm et la seconde à 330 ppm. Finalement pour la modalité T8 les deux applications de métamitronne sont à la dose de 247,5 ppm.

Afin de se rendre compte de l'efficacité de l'application de métamitronne à différents stades de développement physiologique et quantité à l'hectare par rapport à des produits éclaircissants classiques, plusieurs variables sont mesurées dans le **Tableau 6**. Peu après l'application de métamitronne, une notation de la phytotoxicité est réalisée selon une échelle d'évaluation des dégâts allant de la note 1 à 9 réalisée par le Ctifl (**Annexe I**). Cette dernière prend en compte les effets visibles de la molécule éclaircissante sur les feuilles. Ils se traduisent par une légère décoloration entre les nervures au stade 2 pour aller à une décoloration progressive, l'apparition et le développement de nécroses en augmentant de stades jusqu'à la note la plus haute 9. A ce niveau les feuilles sont entièrement nécrosées, bien qu'il puisse persister une zone centrale verte, et chutent la plupart du temps. Le stade 1 correspond à une absence des symptômes cités précédemment. Le taux de fructification permet d'avoir, quelques semaines après l'éclaircissage chimique, une vue de l'impact des différentes techniques éclaircissantes sur la charge des pommiers. Ce taux est obtenu après le comptage du nombre de fruits pour 100 corymbes lorsque la chute physiologique naturelle a lieu.

Tableau 4: Essai post-floraison 3: stratégies d'éclaircissage intégrant la métamitronne - CEFEL – GALA 2015

	Diamètre du fruit et date d'application du traitement		
	6 - 8 mm/ 30 avril 2015	8 - 10 mm/ 05 mai 2015	10 - 12 mm/ 10 mai 2015
T1	Témoin non traité		
T2	Métamitronne 330 ppm	Métamitronne 330 ppm	
T3	ANA+ 6-BA	6-BA	
T4	ANA+ 6-BA	Métamitronne 247,5 ppm	
T5	ANA+ 6-BA	Métamitronne 330 ppm	
T6	ANA+ 6-BA	Métamitronne 165 ppm	Métamitronne 165 ppm
T7	ANA+ 6-BA	Métamitronne 247,5 ppm	Métamitronne 165 ppm
T8	ANA+ 6-BA	Métamitronne 247,5 ppm	Métamitronne 247,5 ppm

Dose ANA= 15 ppm ; 6-BA= 100 ppm

Tableau 5: Effet de l'application de la métamitronne selon le stade physiologique de développement sur la Gala 2015

	Diamètre du fruit et date d'application du traitement		
	6 - 8 mm/ 30 avril 2015	8 - 10 mm/ 05 mai 2015	12 - 14 mm/12 mai 2015
T1	témoin non éclairci		
T2	Métamitronne 247,5 ppm	Métamitronne 247,5 ppm	
T3		Métamitronne 247,5ppm	Métamitronne 247,5ppm

Tableau 6 : Variables mesurées au cours des essais

Variables mesurées	Variétés	Formules	Nombre de branches marquées
Taux de fructification	Ariane, Fuji et Gala	$\frac{\text{nombre de fruits} \times 100}{\text{nombre de corymbes floraux}}$	100 corymbes floraux
Phytotoxicité	Ariane, Fuji et Gala	Note de 1 à 9 (9 correspond au plus atteint)	5 arbres par parcelle
Nombre de fruits/arbre	Ariane, Fuji et Gala	Tous les fruits de l'arbre comptabilisés au compteur	2 arbres représentatifs/parcelle
Calibre	Gala		300 fruits/modalité
Diamètre	Ariane, Fuji et Gala	A l'aide d'un pied à coulisse numérique	300 fruits/modalité
Température moyenne quotidienne	Ariane, Fuji et Gala	Prélevée à l'aide d'une station météo COMSAG	5 jours à partir de l'application de métamitronne
Température nocturne quotidienne	Ariane, Fuji et Gala	Prélevée à l'aide d'une station météo COMSAG	5 jours à partir de l'application de métamitronne
Rayonnement quotidien	Ariane, Fuji et Gala	Prélevée à l'aide d'une station météo COMSAG	5 jours à partir de l'application de métamitronne
Hygrométrie pendant l'heure d'application	Ariane, Fuji et Gala	Prélevée à l'aide d'une station météo COMSAG	Au moment de chaque application de métamitronne, puis toutes les heures pendant 4 heures
Eclaircissage manuel	Ariane	Nombre de fruits enlevés/arbre	Après chute physiologique

Le comptage du nombre de fruits par arbre permet par la suite de confirmer ou non les premières conclusions obtenues après l'analyse du taux de fructification. Cela met également en valeur le pourcentage de fruits chutés en fonction de la dose de métamitronne employée à l'hectare par rapport aux autres modalités. La mesure du diamètre des fruits pour chaque modalité testée est là pour montrer s'il y a une augmentation du calibre significative avec l'emploi de métamitronne par rapport à des éclaircissants classiques et des parcelles non éclaircies.

Chaque essai présenté plus haut est réalisé sur des micro-parcelles. C'est-à-dire que chaque modalité est appliquée sur 5 arbres à chaque fois. Les trois essais détaillés plus haut sont tous composés de 4 blocs. Chacun de ces blocs contient l'ensemble des modalités traitées par variété. S'ils sont répétés plusieurs fois c'est dans le but d'éviter au mieux des situations susceptibles de biaiser les résultats obtenus.

4. Mesure de l'effet de la métamitronne sur Gala selon le stade d'application physiologique de la pomme et la quantité hectare finale apportée

Gala est la variété la plus sensible des trois testées au CEFEL (Ariane et Fuji). C'est pourquoi un essai comparant les différents stades physiologiques d'application est réalisé pour la première fois cette année. Les modalités testées sont présentées dans le **Tableau 5** et le plan de la parcelle testée en **Annexe 5**. L'objectif premier est ici de déterminer à quel stade et à quelle quantité de la molécule éclaircissante, la métamitronne peut être appliquée au maximum sans entraîner pour autant un sur-éclaircissage. En effet les essais des années précédentes ont clairement montré que deux applications, à différents stades physiologiques, à 330 ppm de métamitronne coïncidait avec la chute d'un trop grand nombre de fruits (Compte rendu CEFEL 2014 et 2013). Dans les années précédentes, des expérimentations tendent à montrer que l'application la plus efficace de la métamitronne sur les pommiers correspond à un diamètre de la pomme supérieur à 8 mm (Compte rendu CEFEL 2013 et 2014). Ici l'essai s'est déroulé sur un rang de Gala et a été répété sur 4 blocs. Il y a trois modalités, une non traitée qui servira de témoin T1 et les deux autres, T2 et T3, ont été éclairci chimiquement. Pour T2 et T3 il y a eu deux applications de métamitronne à 247,5 ppm mais à des stades physiologiques différents. Pour la première, les deux applications se sont faites aux stades 6 - 8 mm puis 9 - 10 mm. Pour T3 les applications ont été réalisées aux stades 9 - 10 et 10 - 12 mm.

Cependant, l'essai décrit précédemment ne fait pas varier la dose de métamitronne appliquée à l'hectare, ce qui est le cas du test suivant décrit dans le **Tableau 4**. Les modalités T 6 à T 8 font évoluer la quantité hectare de métamitronne en deux applications aux stades 8-10 mm et 10-12 mm après un mélange (ANA + 6-BA) à 6 – 8mm. Cette autre expérimentation se déroule dans la même parcelle de Gala que l'essai précédent. Toutefois dans ce cas les modalités sont appliquées sur 4 rangs consécutifs, qui constituent chacun des blocs distincts. Une modalité Témoin T1 est également établie. L'intérêt ici est de pouvoir approcher la combinaison la plus optimale dans l'éclaircissage chimique à l'aide de cette nouvelle molécule. C'est-à-dire éviter absolument le sur-éclaircissage avec des doses trop fortes tout en évitant un éclaircissage trop peu efficace qui nécessiterait une intervention manuelle longue et coûteuse.

Le fait de faire à nouveau des applications de métamitrone à deux stades de développements physiologiques différents de la pomme va également enrichir les informations sur la prédiction des stades les plus sensibles à cette nouvelle substance éclaircissante, en particulier pour la variété Gala.

5. Mesure sur la célérité de chute selon la stratégie d'éclaircissage et la variété (Gala, Ariane et Fuji)

D'après plusieurs études on sait maintenant que la métamitrone a une influence sur la chute des fruits pendant la période de nouaison. Ce qui serait d'autant plus intéressant serait de constater si cette molécule peut également déclencher cet événement physiologique plus tôt, par rapport à d'autres substances actives déjà utilisées comme l'ANA et la 6-BA, en appliquant de manière précoce au verger. L'avantage de déclencher plus rapidement ce phénomène est que les fruits restant emmagasinent plus tôt dans la saison un nombre de nutriments plus important. A la récolte, ces fruits ayant subi une ou plusieurs applications de métamitrone devraient être de calibre supérieur aux autres.

Afin de constater si cette hypothèse se vérifie, l'expérimentation sera réalisée sur trois variétés Gala, Ariane et Fuji. Trois modalités seront testées : un témoin non traité aux produits éclaircissants T1, deux applications de métamitrone à 330 ppm T2 et une application de (ANA+6-BA) suivi de métamitrone à 330 ppm T3. Pour T2 et T3 les deux applications seront effectuées aux stades physiologiques 6-8 mm et 8-10 mm. Avant les 6 mm de diamètre de la pomme, les substances actives éclaircissantes sont considérées comme n'ayant pas d'impacts significatifs sur la chute des fruits. Voilà pourquoi aucune application ne sera faite avant dans cette expérimentation. Aucune application ne sera réalisée au-delà des 10 mm de diamètres des pommes, car le but de cette expérimentation est d'étudier les effets d'une application dite précoce de métamitrone. Dans chacune des trois variétés étudiées un rang, le plus homogène, sera sélectionné. Dans chacun de ces rangs les trois modalités testées seront réparties sur des micro-parcelles de 5 arbres. 5 rameaux de taille égale, environ 1 mètre, seront sélectionnés par modalité afin d'obtenir un nombre conséquent de jeunes fruits. L'évaluation de la rapidité de chute se fera en comptant tous les fruits des rameaux sélectionnés à partir de l'application des premiers traitements. Ce comptage se fera 2 à 3 fois par semaine jusqu'à la fin de la période de chute physiologique. Au moment de la récolte un calibrage sera réalisé sur chacune des modalités étudiées afin de constater s'il existe une différence significative entre une application précoce de métamitrone et celle d'un mélange (ANA+6-BA).

Tableau 7 : Modalités pour l'évaluation de la sensibilité variétale sur plusieurs années

	Diamètre du fruit lors de l'application du traitement	
	6 – 8 mm	8 – 10 mm
T1	Témoin non éclairci chimiquement et mécaniquement	
T2	ANA+ 6-BA 5 L/ha	Métamitrone 330 ppm
T3	Métamitrone 330 ppm	Métamitrone 330 ppm

C. Compilation des données récoltées au CEFEL sur Ariane, Fuji et Gala pendant les années 2013, 2014 et 2015

1. Objectif de cette compilation

Les essais présentés précédemment sont menés au CEFEL depuis 2013 sur les mêmes variétés. Une comparaison sur plusieurs années et entre les trois variétés est ainsi possible. Le principal objectif de ce regroupement de données est de mettre en évidence s'il y a un effet année sur l'efficacité de la métamitrone dans la chute des fruits. La récupération des données sur trois variétés de pommiers permet de constater si cette molécule éclaircissante a la même efficacité d'une année sur l'autre en fonction de la variété. Enfin, les conditions météorologiques n'étant pas similaires chaque année au moment de l'application de la métamitrone, une analyse sur plusieurs années permet de connaître si ces conditions impactent, de manière significative, l'efficacité d'éclaircissage de la molécule.

2. Evaluation de la sensibilité variétale (Gala, Fuji et Ariane) sur 2013, 2014 et 2015

Les modalités sélectionnées pour comparer l'efficacité de la métamitrone en fonction de la variété et de l'année sont présentées dans le **Tableau 7**.

Toutes les variables présentées dans le **Tableau 6** seront évaluées dans cet essai. Cette même expérimentation a été menée au CEFEL sur les trois variétés Gala, Ariane et Fuji pour l'année 2014. Seule la variété Ariane a subi les mêmes traitements pour l'année 2013. En 2014 et en 2013 les essais ont également été réalisés sur les mêmes parcelles. Ainsi le retour à fleur a pu être évalué après passage de métamitrone en 2014 et 2015. Plus le retour à fleur est important plus les chances d'avoir une bonne pollinisation et nouaison sont augmentées. Ce facteur peut notamment être amélioré par l'utilisation de molécules éclaircissantes. Il est donc intéressant de constater si on obtient de bons résultats avec la métamitrone.

Toutefois, cela va tout de même permettre d'avoir un visuel de l'application de la métamitrone à la fois sur plusieurs années, variétés et mêmes parcelles. En effet, le pommier est une espèce d'arbre fruitier sujette à l'alternance. Comparer les années de forte charge avec celles de faible charge avec des applications de métamitrone de même concentration permettra de constater si cette molécule a une efficacité équivalente au fur et à mesure des années et selon la variété.

De plus, comparer plusieurs années entre elles peut mettre en évidence l'influence de certaines conditions météorologiques sur les différentes stratégies d'éclaircissants utilisées.

3. Mesure de l'impact des conditions climatiques sur l'efficacité de la métamitrone sur 2013, 2014 et 2015

Depuis 2012, la métamitrone est testée au sein du CEFEL. Depuis cette époque et avec l'appui d'autres structures d'expérimentations on sait que cette molécule a un pouvoir éclaircissant sur les pommiers. Toutefois, les résultats sont parfois aléatoires d'années en années. Les facteurs suivants peuvent être responsables de variations comme l'aspect variétal, l'historique de la parcelle, les besoins en nutriments de celle-ci (année chargée en pommes ou non), la manière d'application (aspersion entière ou partielle de l'arbre) et les facteurs climatiques au moment du traitement. Ce sont ces derniers qui nous intéressent ici.

En effet, plusieurs études ont montré que les températures diurnes et nocturnes ainsi que le rayonnement quotidien avaient impacté l'efficacité de la molécule métamitron. Les températures avant l'application de produit éclaircissant ont une incidence bien plus faible sur l'efficacité de l'éclaircissage chimique que celles après l'application (Kviklys and Robinson, 2010). D'où le choix de ne considérer que les températures diurnes après l'application de métamitron sur les plantes. De plus, si les conditions sont froides et ensoleillées pendant 4 à 5 jours l'efficacité de l'éclaircissant se voit fortement diminuée. A l'inverse, des températures élevées avec un fort couvert nuageux pendant la même durée, coïncide avec une bonne efficacité de la molécule éclaircissante (Mathieu *et al.*, 2011). Selon Byers (1998), ce sont les températures nocturnes, plus que celles de la journée, qui influencent de manière plus importante sur l'efficacité des molécules éclaircissantes après leur application, en particulier celles du jour de l'application et du lendemain.

Il s'agit de l'effet de la respiration nocturne consommatrice de carbohydrates aux dépens des jeunes fruits. L'impact de dérèglement de cette substance active sur le photosystème PSII dure environ un peu plus de 5 jours après application, après cette période celui-ci retrouve une activité normale (Mcartney and Obermiller, 2012). C'est donc dans cette tranche d'une petite semaine après application que l'influence d'éléments environnementaux comme la température ou le soleil peut se révéler significative. Le taux d'hygrométrie est lui aussi important à prendre en compte. En effet, les éclaircissants chimiques à application foliaire, comme c'est le cas de la métamitron, ne sont pas absorbés par l'arbre de manière égale selon l'hygrométrie. Ce paramètre conditionne la période de séchage cruciale pour l'absorption du produit, qui plus elle dure dans le temps meilleur est la pénétration de la molécule dans la plante. Il est considéré qu'une hygrométrie acceptable se situe entre des taux de 50 à 60% (Mathieu *et al.*, 2011). Les conditions hygrométriques pendant l'heure d'application ont un impact sur l'efficacité de la substance, mais également celles dans les heures qui suivent. En effet, selon les auteurs et les molécules testées, 2 heures (Schwallier, 1996) ou 4 heures après traitement (Unrath, 1981), l'hygrométrie impacte sur le produit éclaircissant. Ne connaissant pas toutes les caractéristiques de la métamitron, les conditions hygrométriques seront relevées pendant l'heure d'application et pendant les 4 heures qui suivent.

Pour chaque expérience menée par le CEFEL sur la métamitron, les conditions climatiques, températures diurnes et nocturnes et le rayonnement solaire quotidien, seront répertoriés dans la semaine suivant les différentes applications cette substance. Le calibre des fruits à la récolte sera également prélevé afin de mettre en évidence une corrélation entre celui-ci et les conditions d'applications de la métamitron.

D. Suivi de la première année d'utilisation de la métamitron dans les parcelles de producteurs du Sud-Ouest (grandes parcelles)

1. Objectif des essais

2015 est la première année d'homologation de la métamitron sur le territoire français. Cette décision administrative a permis aux producteurs d'utiliser cette molécule sur leurs vergers tout en ayant l'autorisation de commercialiser leur récolte. Le suivi de ces parcelles sera d'autant plus intéressant que les seuls essais menés pour l'instant en France ne l'ont été que sur des micro-parcelles.

Ces premières applications chez les producteurs vont permettre d'observer les premiers résultats de cette molécule dans un cadre de production à grande échelle.

2. Déroulement du suivi des essais

Au cours de cette saison le nombre de fruits récoltés par arbre est enregistré. Afin d'avoir une bonne homogénéité des résultats, 4 à 6 arbres, sont comptés par modalité, en fonction de la surface accordée. Cette variable permet d'obtenir les résultats de l'efficacité de l'éclaircissage en nombre de fruits restant sur les arbres entre les modalités testées. Juste avant la récolte, une semaine pour Gala et un mois à un mois et demi avant pour les autres, le diamètre des fruits est mesuré à l'aide d'un pied à coulisse.

Toujours dans l'optique d'avoir une répartition des résultats se rapprochant le plus possible à la réalité du terrain, 300 fruits par modalité sont mesurés. Cette mesure montre s'il y a une augmentation significative du diamètre en millimètre dans les parcelles traitées à la métamitronne et celles ayant subi un éclaircissage classique sans l'utilisation de cette nouvelle molécule.

Les essais menés chez les producteurs sont répartis essentiellement dans le département du Tarn-et-Garonne mais également dans le Lot-et-Garonne et en Dordogne. C'est pourquoi comme pour les tests menés sur micro-parcelles les données météorologiques des grandes parcelles sont relevées.

E. Traitement des données

L'analyse statistique est effectuée avec le logiciel StatBox, en utilisant l'ANOVA (ANalysis Of VAriance) au seuil alpha de 5% suivie d'un test post-hoc de Newmann-Keuls quand l'homoscédasticité des variances, la normalité et l'indépendance sont respectées. Dans le cas contraire, le test appliqué est celui de Kreuskal-Wallis (KW) au seuil alpha de 5% suivi d'un test post-hoc de Kreuskal-Wallis si une différence significative entre les modalités est démontrée. Les corrélations ont été traitées statistiquement avec le coefficient de Pearson quand les données étaient normales et avec le coefficient de Spearman dans le cas contraire. Les lettres a,b,c,d,e et f désignent des groupes statistiquement différents sur les graphiques. La mention *ns* signifie que la différence est statistiquement non significative contrairement au symbole * où elle l'est.

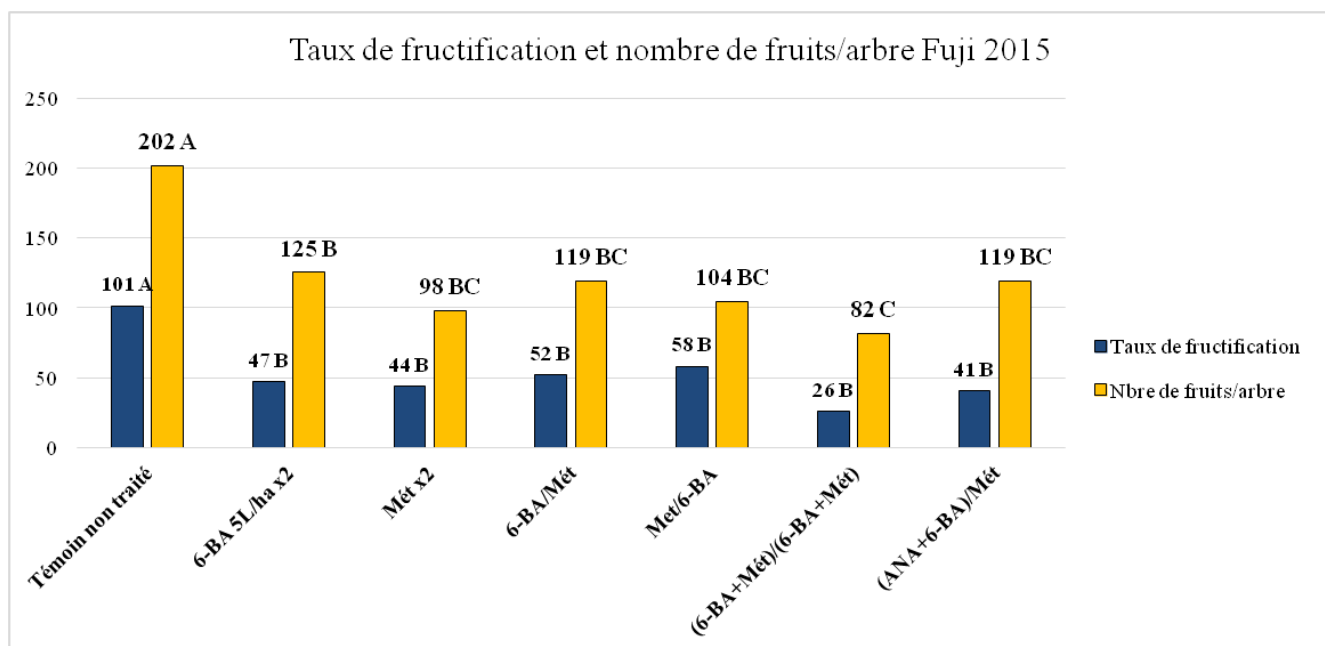


Figure 10: Taux de fructification de la variété Fuji en fonction de la modalité appliquée au CEFEL - 2015

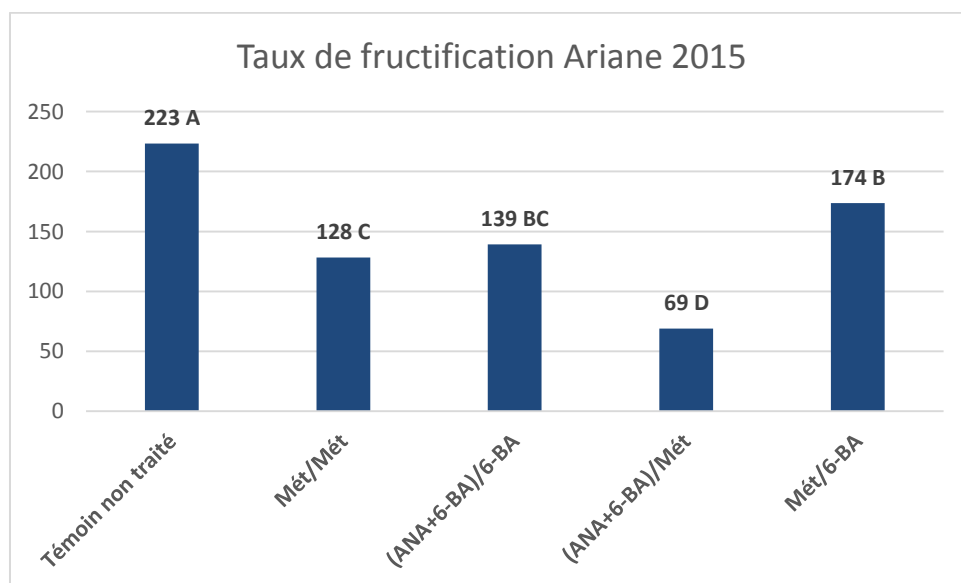


Figure 11: Taux de fructification de la variété Ariane en fonction de la modalité appliquée au CEFEL - 2015

IV. Présentation et analyse des résultats

A. Présentation et analyse des résultats obtenus sur micro-parcelles au CEFEL en 2015

Les premiers résultats obtenus après la réalisation des différents programmes d'éclaircissage sont les taux de fructification pour chaque variété testée.

1. Résultats obtenus sur la variété Fuji

Pour l'essai post-floraison 1 effectué sur Fuji les résultats pour chaque modalité sont répertoriés dans la **Figure 10**. Le premier constat est que le taux de fructification est faible. Pour la modalité témoin non traité il est de **101**, or 100 est l'objectif à atteindre avec l'éclaircissage chimique. Ce nombre correspond à l'équivalent d'un fruit par corymbe. Les taux de fructification des modalités sous éclaircissage chimique présentés dans la **Figure 10** sont donc à relativiser sur la variété Fuji pour l'année 2015. Il y a une différence significative entre les micro-parcelles non traitées et celles qui ont subi un traitement spécifique. En effet ces dernières ne dépassent pas un taux de fructification de **60**, alors que la partie témoin non traitée est à un taux de **101**. L'association en mélange de 6-BA et métamitronne appliquée deux fois est la plus efficace pour favoriser la chute des fruits avec un taux de fructification de **26**. Les autres modalités, dont les taux sont compris entre **41** et **58**, semblent former un groupe plutôt homogène. A la suite d'une ANOVA et d'un test post-hoc Newman-Keuls, la modalité témoin non traitée reste distincte de tous les autres. Par contre, selon l'analyse statistique toutes les autres modalités forment un groupe homogène. Dans cette situation aucune conclusion ne peut être tirée pour l'instant. Toutefois, et à la suite du travail d'investigation sur le terrain, il ressort une tendance de plus grande efficacité pour la modalité **T6** du **Tableau 2**. En comparant les différentes modalités entre elles, et sur cet essai uniquement et sur le seul critère du taux de fructification, il apparaît que l'hormone de synthèse végétale, la benzyl adénine, et la molécule inhibitrice de photosynthèse, appliquées séparément est une efficacité équivalente d'éclaircissage sur la variété Fuji.

Le comptage du nombre de fruits par arbre pour chaque modalité confirme que les micro-parcelles ayant subi une stratégie d'éclaircissage ont une baisse de la charge significative par rapport au témoin. **T2**, qui ne contient pas de métamitronne, possède le nombre de fruits moyen par arbre le plus élevé par rapport aux parcelles traitées, même si cette différence n'est pas significative. Les modalités **T3**, **T4**, **T5** et **T7** forment un groupe homogène, **BC**, où aucune ne se détache du reste de cet ensemble. Seule **T6**, une double application d'un mélange de métamitronne et de benzyl-adénine, dénombre une charge en fruits légèrement significativement plus faible que les autres. Tout comme avec le taux de fructification, aucune conclusion par rapport à l'utilisation optimale de la métamitronne sur la variété Fuji ne ressort sur cet essai. Néanmoins, les informations sur le nombre de fruits par arbre semblent montrer qu'une association de benzyl-adénine avec la métamitronne appliquée deux fois aux stades 6-8mm et 8-10mm aie une efficacité supérieure aux autres stratégies utilisées quant à la diminution de la charge.

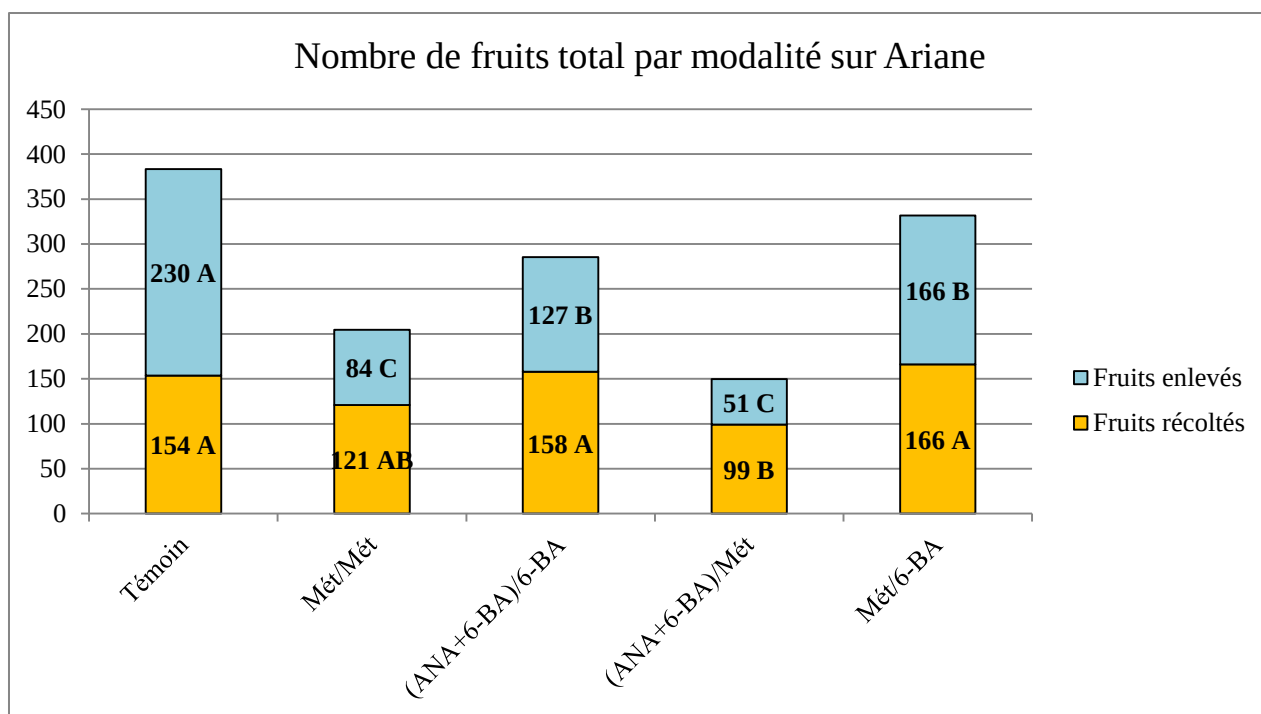


Figure 12: Nombre de fruits total (récoltés+éclaircis manuellement) sur la variété Ariane au CEFEL – 2015

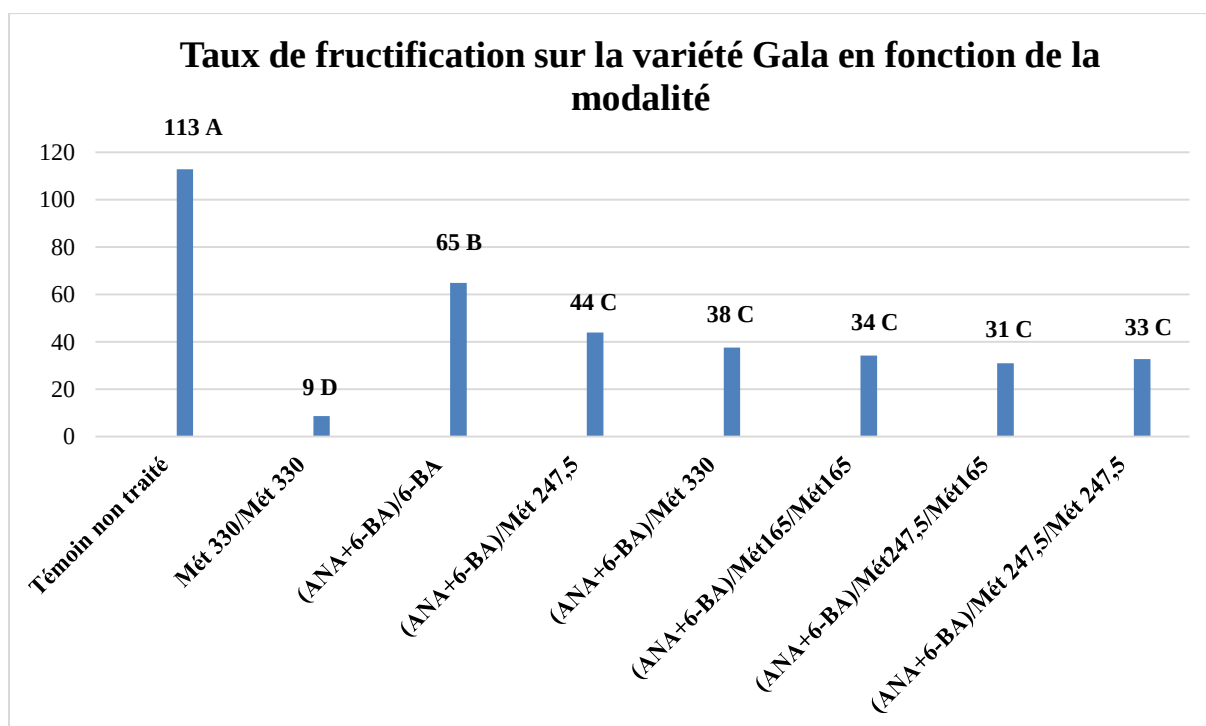


Figure 13: Taux de fructification de la variété Gala selon les modalités appliquées au CEFEL – 2015

2. Résultats obtenus sur la variété Ariane

L'essai post-floraison 2 mené sur la variété Ariane amène à des conclusions différentes (**Figure 11**). Les micro-parcelles non traitées présentent le taux de fructification le plus haut par rapport aux autres modalités, avec **223**. Après une analyse statistique cette modalité témoin forme un groupe homogène statistiquement différent des autres. Les modalités **T2**, **T3** et **T5** ne présentent pas de taux de fructification statistiquement différents entre elles. Le mélange (ANA+6-BA) à 6-8mm suivi de métamitronne à 8-10mm a un taux de fructification bien plus bas que les autres modalités à **69**, ce qui en fait à lui seul un groupe statistiquement distinct. En comparant **T3** avec **T5**, on constate qu'une application d'un mélange (ANA+6-BA) à 6-8mm est un peu plus efficace qu'une application de métamitronne au même stade suivi de 6-BA à 8-10mm. La comparaison entre **T2** et **T4** montre également que le taux de fructification est bien plus bas avec une application de (ANA+6-BA) à 6-8mm suivi de métamitronne plutôt qu'avec deux applications consécutives de métamitronne aux deux mêmes stades. Toutefois, en regardant **T3** et **T4**, il ressort que cette dernière modalité a un taux de fructification (**69**) bien plus bas que la première (**139**). Pour ces deux modalités il y a eu une application d'un mélange (ANA+6-BA) à 6-8mm. Puis pour **T3** la seconde application a été de la 6-BA et pour **T4** de la métamitronne, toutes deux à 8-10mm.

Lorsque l'on comptabilise le nombre de fruits par arbre, après un éclaircissage manuel nécessaire sur Ariane, aucune modalité ne se différencie de manière significative d'une autre, comme on peut le voir sur la **Figure 12**. Ce résultat ne recoupe donc pas les premières conclusions tirées après l'analyse du taux de fructification. Par contre, lors de l'éclaircissage manuel le nombre de fruits enlevés par arbre a été comptabilisé. Grâce à ces données on obtient trois groupes statistiquement homogènes. Le premier est constitué du témoin seul, avec le plus grand nombre de fruits enlevés par arbre. Le deuxième groupe **B** est formé des modalités **T3** et **T5**, où la première ne contient pas de métamitronne. C'est la stratégie de référence pour cet essai et la deuxième est composée d'un mélange (ANA+6-BA) suivi de métamitronne. Le troisième et dernier groupe contient **T2** et **T4**. **T4** reste la technique d'éclaircissage la plus efficace puisque qu'il n'a fallu enlever en moyenne par arbre que **51** fruits contre **127** pour **T3** : la modalité de référence.

A la suite de cet essai sur la variété Ariane, on constate que le mélange (ANA+6-BA) est plus efficace sur la chute des fruits à 6-8mm que la métamitronne seule au même stade.

Par contre, cette dernière se montre plus efficace que la 6-BA au stade de 8-10mm sur la chute des fruits. A ce stade du suivi de l'expérimentation la stratégie d'éclaircissage entraînant la chute importante pour la variété Ariane est une première application de (ANA+6-BA) à 6-8mm suivi de métamitronne à 8-10mm.

3. Résultats obtenus sur la variété Gala

L'essai post-floraison 3 sur la variété Gala présente, tout comme Fuji, un taux de fructification faible. Les résultats obtenus après éclaircissage sont donc également à relativiser pour cette variété sur l'année 2015. On observe que les modalités se séparent en 4 groupes distincts (Figure 13). La modalité témoin non traité compte **113** de taux de fructification ce qui en fait la modalité avec le taux le plus élevé pour cet essai. Toutes les autres modalités ont un taux inférieur à celui du témoin et sont statistiquement différentes du témoin.

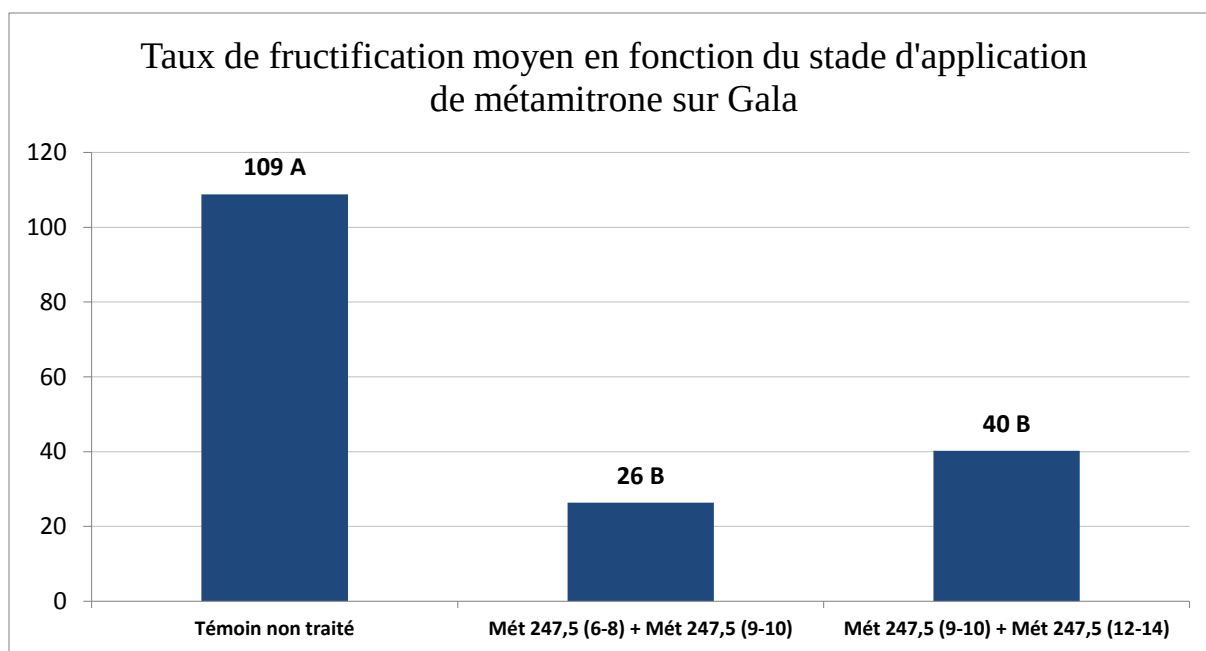


Figure 14: Taux de fructification moyen en fonction du stade d'application de métamitronne sur Gala au CEFEL - 2015

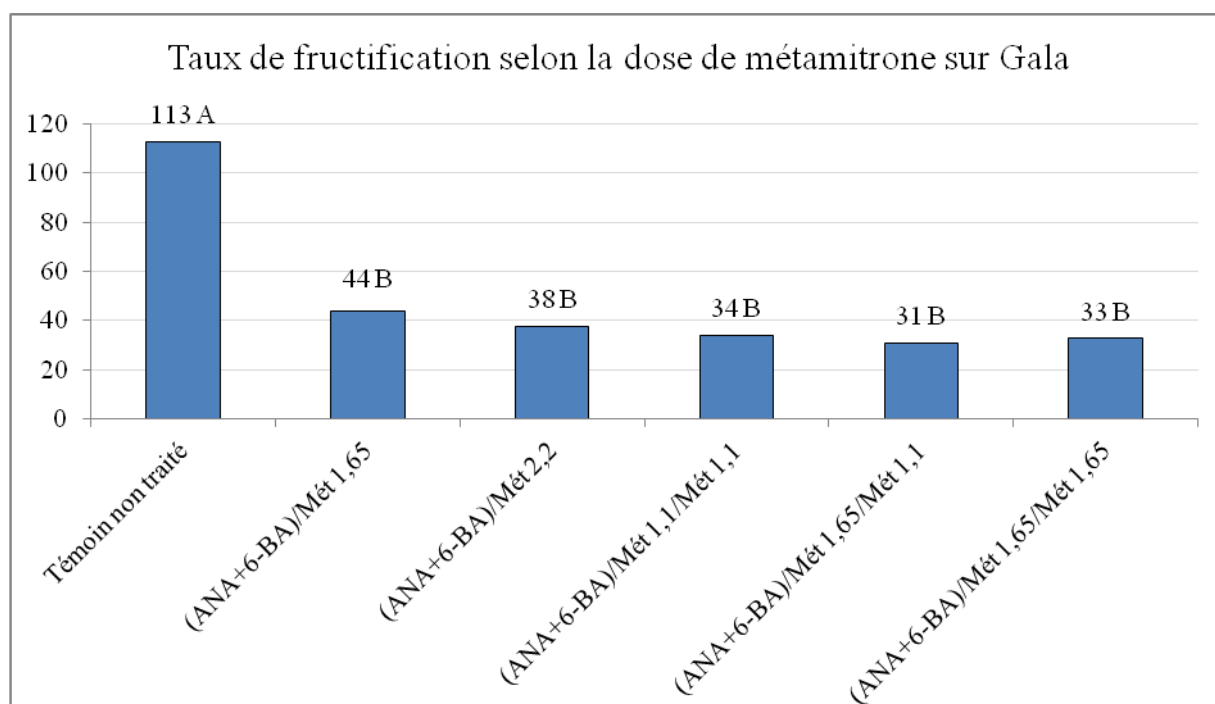


Figure 15 : Taux de fructification moyen en fonction de la dose à l'hectare appliquée de métamitronne sur la variété Gala au CEFEL - 2015

La modalité traitée avec le haut taux de fructification est **T3, 65**, avec l'application en mélange de (ANA+6-BA) à 6-8mm suivi d'une application de 6-BA seul à 8-10mm. Les modalités **T4 à T8**, qui contiennent des applications de (ANA+6-BA) à 6-8mm suivi de métamitronne appliquée en une ou deux fois, ont toutes un taux de fructification plus faible que **T3**. **T4, T5, T6, T7 et T8** forment d'après le test de Newmann-Keuls un groupe homogène distinct des autres modalités. Enfin la modalité **T2**, avec deux applications de métamitronne à 330 ppm aux stades 6-8mm et 8-10mm, est celle dont l'éclaircissage a été le plus efficace avec un taux de fructification de **9**. Pour la variété Gala, en ne tenant compte que de cet essai, dès que la métamitronne est intégrée dans une stratégie d'éclaircissage, la chute des fruits est plus importante en comparaison à une combinaison d'éclaircissants ne comportant pas cette nouvelle molécule. Lorsque l'on analyse les modalités **T4 à T8**, elles ont comme base commune d'avoir une première application d'un mélange de (ANA+6-BA) au stade 6-8mm. Par la suite, une ou deux applications de métamitronne à des doses et stades de développement différents sont réalisées. Mais aucune différence significative n'est observée entre ces 4 modalités. Toutefois, il semble y avoir une tendance vers une amélioration de l'efficacité de la chute des fruits lorsque la dose à l'hectare est augmentée. Cela est d'autant plus vrai lorsqu'une même dose de métamitronne est appliquée en deux fois, aux stades 8-10 et 10-12mm, plutôt qu'en une seule fois à 8-10mm. Cependant, il apparaît qu'au-delà d'une dose à l'hectare supérieure à 330 ppm de métamitronne, l'efficacité de l'éclaircissage n'augmente pas de manière significative. Par contre, lorsque la nouvelle molécule est appliquée au stade précoce de 6-8mm à 330 ppm puis de nouveau à la même dose mais à 8-10mm la chute des fruits est augmentée considérablement. Sur cette seule année 2015 et sur cette parcelle, la variété Gala semble plus sensible à la métamitronne lorsque celle-ci est appliquée au stade 6-8mm qu'à un mélange (ANA+6-BA) au même stade.

4. Résultats sur le stade d'application optimale de métamitronne à une même dose à l'hectare sur la variété Gala

Le taux de fructification des deux modalités traitées, **26 et 40**, est significativement plus faible que celui du témoin (**109**), comme on peut le voir sur la **Figure 14**. Entre les deux modalités éclaircies à la métamitronne il n'y a pas de différence significative. Toutefois, le traitement avec deux applications de la molécule éclaircissante aux stades 6-8mm et 9-10mm semble être plus efficace dans la chute des fruits que le second avec une application à 9-10mm suivie d'une seconde à 12-14mm.

Sur ce seul résultat du taux de fructification, aucune conclusion définitive au stade d'application optimale de métamitronne à la dose de 247,5 ppm sur la variété Gala ne peut être retenue. La tendance vers une meilleure efficacité du produit à un stade précoce de 6-8mm par rapport à 12-14mm doit être surveillée avec les résultats de la récolte 2015.

5. Résultats sur la dose à l'hectare optimale à appliquer sur la variété Gala

La **Figure 15** présente les résultats de taux de fructification obtenus pour différentes quantités à l'hectare de métamitronne sur la variété Gala. En comparaison au témoin non traité, toutes les micro-parcelles éclaircies chimiquement ont un taux de fructification significativement plus faible que le témoin. Par contre, sur cette seule mesure, aucune différence significative n'apparaît entre les modalités où la nouvelle molécule éclaircissante a été appliquée.

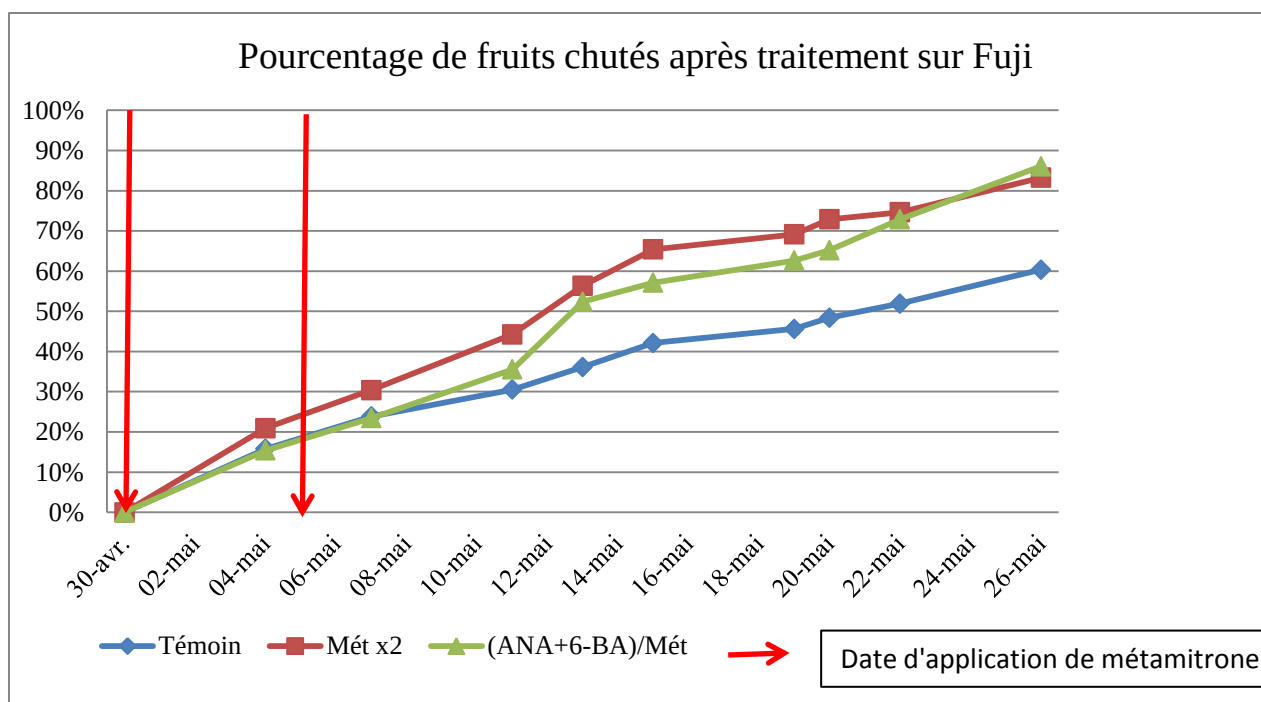


Figure 16 : Pourcentage des fruits chutés en fonction du traitement pendant le mois de mai sur la variété Fuji au CEFEL - 2015

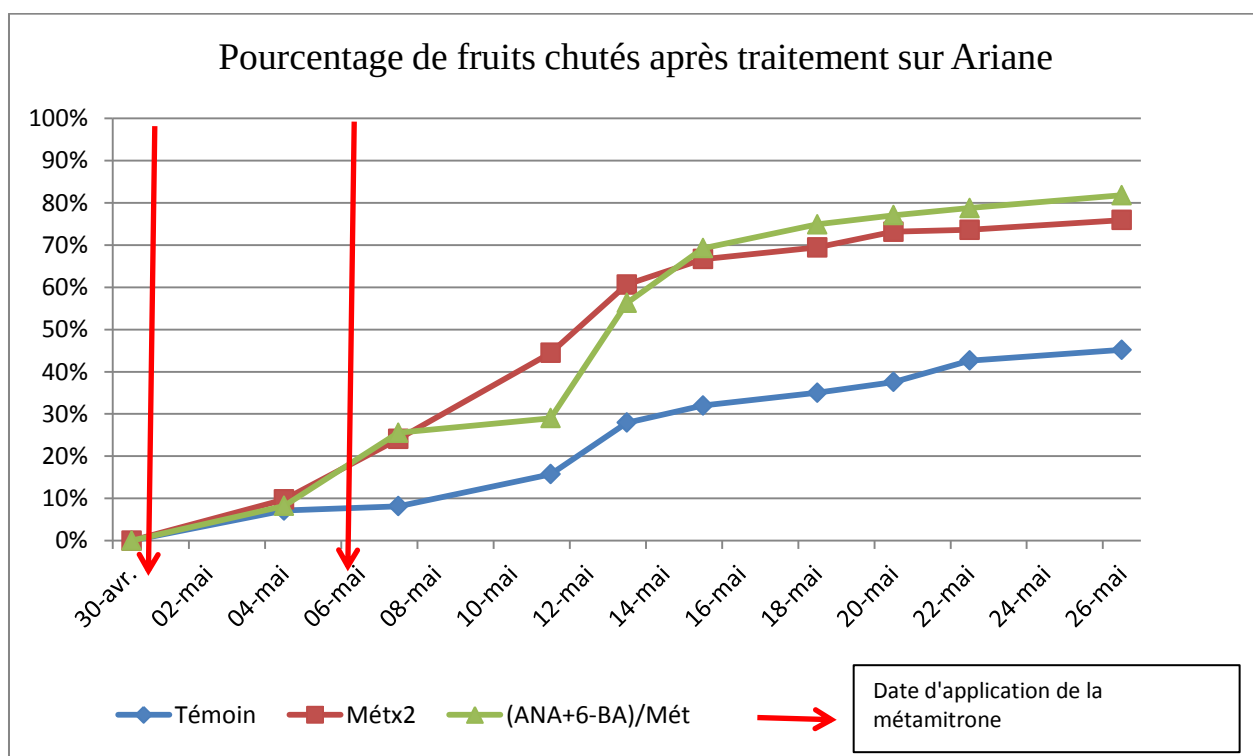


Figure 17 : Pourcentage des fruits chutés en fonction du traitement pendant le mois de mai sur la variété Ariane au CEFEL - 2015

Néanmoins, on constate sur le graphique qu'il y a une tendance à amplifier la chute des fruits lorsque l'on augmente la quantité à l'hectare de métamitron. On passe, par exemple, de **44** de taux de fructification pour 247,5 ppm en une application, à **33** pour **495** ppm appliqués en deux fois à 247,5 ppm. De plus, lorsque l'on applique une même dose de métamitron en deux fois, il y a une légère baisse du taux de fructification par rapport à celui relevé dans le cas d'une seule application de cette même quantité. Par exemple, pour une application de ce nouvel éclaircissant à 330 ppm le taux de fructification est de **38**, alors qu'appliquée en deux fois ce taux tombe légèrement à **34**.

Bien qu'aucune différence significative ne se dégage entre les modalités testées, une légère tendance de la baisse du taux de fructification est observée lorsque la quantité à l'hectare est augmentée et l'application se fait en deux fois. C'est maintenant avec les résultats de la récolte 2015 que l'on pourra constater si cette tendance se confirme.

6. Analyse sur la célérité de chute selon la stratégie d'éclaircissage et les variétés : Gala, Ariane et Fuji

Fuji

Sur la **Figure 16**, les trois modalités suivent la même évolution constante. Les micro-parcelles se superposent presque avec un pourcentage final de fruits chutés très proche. On relève pour la double application de métamitron, **83%**, et pour le mélange (ANA+6-BA) suivi de métamitron **86%**. Par contre, on note qu'à partir du **13 mai** ces deux modalités se détachent du témoin avec un pourcentage de fruits chutés plus important. Cette différence entre les micro-parcelles éclaircies chimiquement et celles témoin se maintient jusqu'à la fin du comptage le **26 mai**. A cette date, le témoin non traité possède **60%** de ses fruits chutés. Les deux modalités traitées voient leurs fruits chutés bien plus rapidement que ceux du témoin, mais aucune différence significative n'apparaît entre ces deux-là.

Sur ce critère de mesure de la célérité de chute les deux stratégies d'éclaircissage, ici évaluées, sont équivalentes. A la vue de ces résultats, on peut penser que c'est la seconde application de métamitron, au stade 8-10mm, qui a une réelle influence sur la rapidité de chute des fruits sur la variété Fuji. En effet, les pourcentages finaux de chute des fruits des deux modalités traitées sont équivalents, que l'on applique au stade 6-8mm de la métamitron ou le mélange (ANA+6-BA).

Ariane

Les deux modalités traitées testées sur la variété Ariane suivent globalement la même évolution en termes de rapidité de chute des fruits après application des éclaircissants (**Figure 17**). A la fin du comptage, le **26 mai**, on relève **82%** de fruits chutés pour la modalité **T3**, (ANA+6-BA)/Mét, et **76%** pour **T2**, Mét x2. Par rapport au témoin, ces deux modalités se détachent de celui-ci dès le **7 mai** avec pour **T2** et **T3** **24%** et **26%** de fruits chutés à cet instant-là. Au même moment les micro-parcelles **témoins** n'ont que **8%** de fruits chutés. Cet écart entre les modalités éclaircies et celle non traitée persiste jusqu'à la fin du comptage, puisqu'à la date du **26 mai** le chiffre de **45%** de fruits chutés a été relevé pour **T1**.

Sur cet essai la quantité de fruits chutés ainsi que la célérité de chute sont bien plus importantes pour les modalités traitées par rapport au **témoin**.

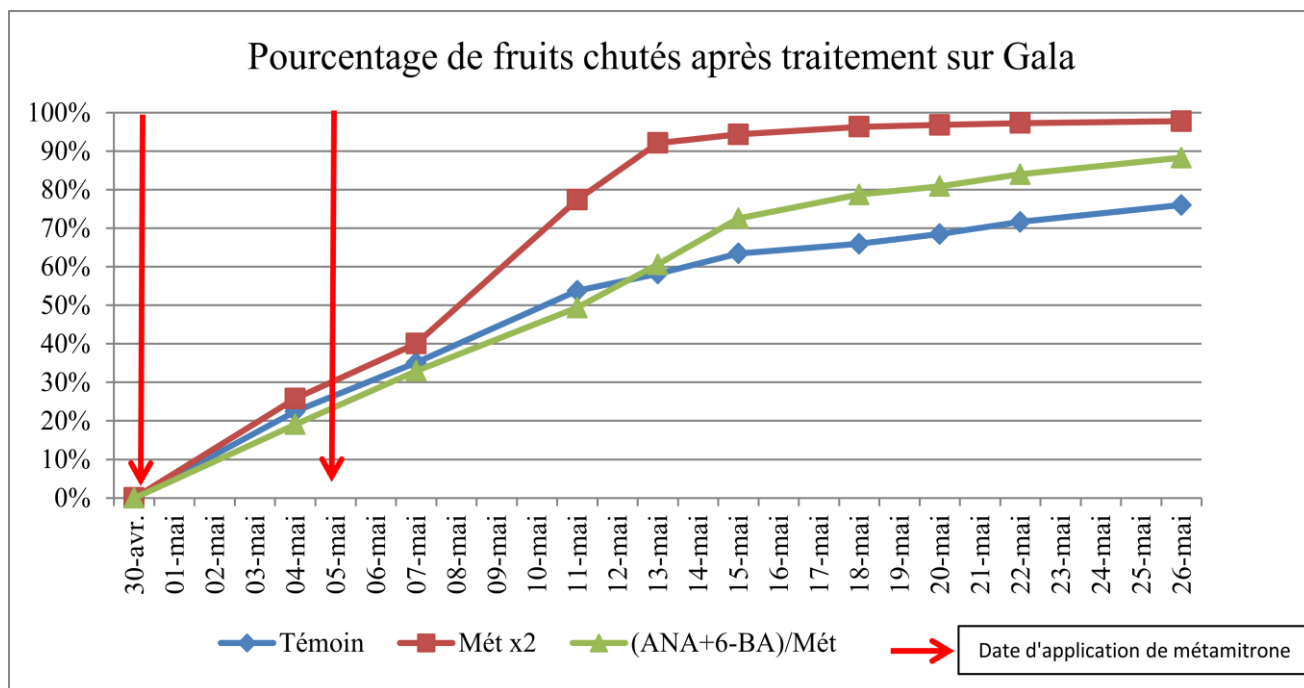


Figure 18 : Pourcentage des fruits chutés en fonction du traitement pendant le mois de mai sur la variété Gala au CEFEL - 2015

Aucune différence significative entre **T2** et **T3** ne ressort pour la variété Ariane. De même que concernant la variété Fuji, il semble que l'application de la métamittrone à 8-10mm à une dose de 330 ppm ait un impact plus conséquent sur la chute des pommes qu'une application identique au stade 6-8mm.

Gala

Sur la **Figure 18**, les trois modalités suivent une évolution similaire concernant la rapidité de chute des fruits jusqu'à la date du **7 mai**. Après, la modalité **T2**, double application de métamittrone à 330 ppm aux stades 6-8 et 8-10mm, se détache des deux autres pour atteindre dès le **13 mai** le pourcentage final de fruits chutés avec **92%**. A la fin de cet essai, le **26 mai**, on relève **98%** de fruits chutés pour **T2**. Les modalités **T3** et **T1** suivent une même évolution même si la première termine un pourcentage de fruits chutés un peu plus important au final. Pour **T3** l'essai se termine avec **88%** et le **témoin** avec **76%**.

Sur cet essai, la modalité **T2** a entraîné une chute des fruits plus importante et plus rapide que les deux autres. En effet, **T2** atteint son maximum quasiment 13 jours avant la fin de l'expérience, alors que pour les deux autres modalités on observe une augmentation de la chute jusqu'au bout du comptage le 26 mai. A la vue de ces résultats, c'est une double application de métamittrone à 330 ppm aux stades 6-8 et 8-10mm sur la variété Gala qui est la plus efficace.

Pour les variétés Ariane et Fuji, aucune des deux modalités traitées ne s'est démarquée. La seule conclusion qui semble s'imposer est que la première application de métamittrone au stade 6-8mm à la dose de 330 ppm ne paraît pas influencer plus la chute des fruits qu'un mélange (ANA+6-BA) au même stade. Concernant la variété Gala, il apparaît que cette même première application de métamittrone ait un impact plus marqué que ce même mélange. Néanmoins, ces résultats obtenus sur la variété Gala sont à relativiser puisque la chute naturelle sur témoin a atteint déjà 76% et qu'avec la modalité **T2**, 98%. Ce qui correspond à une situation de sur-éclaircissage. Cette double application de métamittrone sur la variété Gala et sur ce seul essai paraît être trop efficace. La modalité **T3**, pour Gala, semble être une stratégie plus sage à employer sur celle-ci, car bien que le pourcentage de fruits chutés soit tout de même élevé, 88%, le nombre de fruits sur l'arbre restant est bien plus conséquent.

B. Comparaison des données récoltées au CEFEL sur Ariane, Fuji et Gala pendant les années 2013, 2014 et 2015

1. Résultat et analyse de la sensibilité variétale de Fuji, Ariane et Gala vis-à-vis de la métamittrone sur 2013, 2014 et 2015

a) Bilan des tests métamittrone sur Fuji

Pour l'année 2013, les modalités **T1**, **T2** et **T3** forment un groupe statistique homogène **B**, pour le taux de fructification et la charge en fruits par arbre (**Tableau 8**). Pour ces deux critères la partie témoin **T0** non traitée forme un groupe statistique à part **A**, le taux de fructification et le nombre de fruits par arbre étant à chaque fois bien supérieurs aux autres modalités.

Tableau 8 : Compilation des données récoltées sur la variété Fuji selon différentes stratégies d'éclaircissage réalisées au CEFEL en 2013, 2014 et 2015

		par arbre					
Année	Modalité	Taux de fructification		Nb fruits		Poids moyen d'un fruit	
2013	T0	108	A	318	A	159	C
	T1	61	B	238	B	183	B
	T2	42	B	183	B	218	A
	T3	48	B	173	B	216	A
2014	T0	93	A	202	A	179	C
	T1	91	A	139	B	211	B
	T2	46	B	66	C	275	A
	T3						
2015	T0	101	A	202	A		
	T1	47	B	125	B		
	T2	46	B	98	B		
	T3	41	B	119	B		

T0= Témoin
 T1= 6-BA/6-BA
 T2= Mét/Mét
 T3= (ANA+6-BA)/Mét

Par contre lorsque l'on considère le poids moyen d'un fruit, en gramme, plusieurs groupes statistiques apparaissent. Les modalités **T2** et **T3**, traitées à la métamitronne, forment un groupe statistique homogène, **A**, avec respectivement des poids de **218** et **216** grammes. **T1** forme à elle seule le groupe **B**, avec **183** grammes de poids moyen, et **T0** également avec **C** et un poids moyen par fruit de **159** grammes.

Sur l'année 2014, les données de taux de fructification sont globalement plus faibles pour les trois modalités testées en comparaison de l'année précédente. **T0** et **T1** forment un groupe statistique homogène **A** concernant la fructification avec des taux respectifs de **93** et **91**. Seule **T2** se distingue des deux autres sur le plan statistique avec un résultat de **46**. Lorsque l'on prend en compte la charge en fruits au moment de la récolte, chaque modalité est statistiquement différente des autres. Chacune forme trois groupes homogènes distincts. **A** pour **T0**, **B** pour **T1** et **C** pour **T2**. Le nombre de fruits par arbre est alors respectivement de **202**, **139** et **66**. Cette répartition en trois groupes statistiques se retrouve avec le poids moyen en grammes d'un fruit. Les modalités **T2**, **T1** et **T0** sont respectivement représentées par les groupes homogènes **A**, **B** et **C**. Le poids moyen d'un fruit dans les micro-parcelles est de **275 grammes**, pour **T1** il est de **211 grammes** et enfin pour **T0** il est de **179 grammes**. Soit une différence entre les fruits d'une modalité non traitée et ceux ayant subi une double application de métamitronne à 330 ppm de près de 100 grammes.

Pour l'année 2015, la récolte de Fuji n'a pas encore eu lieu à la date où ce rapport est rédigé, d'où l'absence de données quant au poids moyen d'un fruit par modalité. Tout comme l'année précédente les taux de fructification sont globalement bas pour les 4 modalités testées par rapport à l'année 2013. Que ce soit pour le taux de fructification ou la charge en fruits à la récolte, **T1**, **T2** et **T3** forment à chaque fois un seul et même groupe statistique homogène **B**. Quant aux micro-parcelles témoins elles sont pour ces deux critères toujours statistiquement différentes et plus élevées que celles traitées avec un taux de fructification de **101** et un nombre de fruits à la récolte de **202**. Soit, dans les deux cas, des chiffres deux fois plus haut que pour **T1**, **T2** et **T3** qui possèdent respectivement un taux de fructification de **47**, **46** et **41** et une charge globale à la récolte de **125**, **98** et **119**.

Hormis l'année 2014, les trois modalités traitées **T1**, **T2** et **T3** ne se différencient pas statistiquement si on compare les taux de fructification et la charge à la récolte. On peut ainsi considérer, à la vue de ces résultats, que ces trois modalités, sur la variété Fuji, ont une efficacité, dans la chute des fruits, équivalente. Par contre, si on vient à considérer le poids moyen d'un fruit, il y a une différence significative entre les modalités **T2** et **T3** d'un côté et **T1** de l'autre sur les années 2013 et 2014. En effet, pour une charge globale équivalente, les micro-parcelles traitées à la métamitronne ont un poids moyen de fruits significativement supérieur à celui des micro-parcelles ayant subi une double application de 6-BA sur l'année 2013. Ce résultat peut être remis en question sur l'année suivante, car pour **T2** le nombre de fruits par arbre a été significativement inférieur à celui de **T1**. Bien que le poids par fruit soit supérieur pour **T2** par rapport à **T1**, le nombre de kilos de pommes par arbre en moyenne pour **T2** est bien inférieur à **T1**. On ne trouve que **18,15kg/arbre** pour la modalité **T2**, alors que pour **T1** on trouve **29,33kg/arbre**, soit plus de dix kilos de différence. Pour un producteur, il est clair qu'il préférera privilégier la stratégie d'éclaircissage sans métamitronne, qui, sur cette année 2014, présente des caractéristiques de sur-éclaircissage trop marquées. C'est pourquoi les résultats de 2015 à la récolte seront intéressants, dans le sens où la charge est équivalente entre les modalités traitées, tout comme en 2013, et constater si l'on obtient également un poids des fruits traités à la métamitronne significativement plus élevé que ceux traités à la 6-BA.

Tableau 9: Compilation des données récoltées sur la variété Ariane selon différentes stratégies d'éclaircissage réalisées au CEFEL en 2013, 2014 et 2015

		par arbre							
Année	Modalité	Taux de fructification		Nb fruits récoltés		Nb fruits éclaircis		Poids moyen d'un fruit	
2013	T0	313	A	325	N.S.	360	A	118	B
	T1	198	B	290		207	B	129	A
	T2	199	B	344		195	B	119	B
	T3	166	B	289		178	B	130	A
2014	T0	184	A	334	A	261	A	111	C
	T1	150	A	292	AB	170	BC	129	B
	T2	152	A	291	AB	198	AB	126	B
	T3	93	B	216	B	105	C	157	A
2015	T0	223	A	154	A	230	A		
	T1	139	B	158	A	127	B		
	T2	128	B	121	AB	84	BC		
	T3	69	C	99	B	51	C		

$$T1 = (ANA + 6-BA) / 6-BA$$
$$T3 = (ANA + 6 - BA) / Mét$$

b) Bilan des tests métamitrones sur Ariane

En 2013, les modalités traitées **T1**, **T2** et **T3** forment un groupe statistiquement homogène **B** ; les micro-parcelles témoin **T0** forment le groupe homogène **A** ; pour le taux de fructification et le nombre de fruits enlevés pendant l'éclaircissage manuel (**Tableau 9**). D'après le test de Newman-Keuls, le nombre de fruits par arbre ne présente aucune différence significative entre les 4 modalités (**Annexe 2**). Cela est un résultat plutôt logique puisque le but de l'éclaircissage manuel est d'obtenir un même nombre de fruits par arbre sur l'ensemble de la parcelle. Au niveau du poids moyen par fruit, la modalité **T2** (deux applications de métamitrones) forme un groupe homogène **B** avec **T0**, avec respectivement **119** grammes et **118** grammes de poids moyen pour une pomme dans ces micro-parcelles. Par contre les modalités **T1** et **T3** forment un second groupe statistiquement homogène **A** avec pour poids moyen respectivement **129** et **130** grammes. Sur la seule année 2013, une certitude ressort c'est qu'une application d'un (ANA+6-BA) au stade 6-8mm semble efficace sur le plan de l'éclaircissage et de l'augmentation du calibre par rapport à une application au même stade de métamitrones à la dose de 330 ppm. Par contre aucune conclusion ne peut être faite sur l'éclaircissant le plus efficace à appliquer au stade 8-10mm sur la variété Ariane entre la métamitrones et la benzyl adénine.

En 2014, les modalités **T0**, **T1** et **T2** forment un groupe statistiquement homogène, **A**, concernant le taux de fructification. La modalité **T3** compose le groupe **B** à elle toute seule. A noter que pour cette année le taux de fructification est bien plus bas qu'en 2013, d'où peut-être cette absence de différences significatives entre **T0** et **T1** et **T2**. A propos du nombre de fruits récoltés par arbre, aucune différence statistiquement significative n'apparaît entre les 4 modalités. Sauf entre le témoin **T0**, qui comporte une moyenne de **334** fruits récoltés, et qui forme le groupe **A** et la modalité **T3**, qui a une moyenne de **216** fruits récoltés par arbre, et compose le groupe **B**. On retrouve des différences significatives entre modalités avec le nombre de fruits éclaircis où c'est **T3** qui a le nombre le plus faible avec **105** fruits et compose seule un groupe statistiquement homogène **C**. Toujours pour l'éclaircissage, les deux modalités **T1** et **T2** ne sont pas différentes entre elles et avec les 2 autres sur le plan statistique puisque les groupes auxquels elles appartiennent se recoupent avec **A** et **C**. Lorsque l'on analyse les résultats de poids moyen d'un fruit selon les variétés, sur le **Tableau 9**, les résultats statistiques sont nets. On distingue trois groupes homogènes : **T3** dans le groupe **A**, **T1** et **T2** dans le **B** et **T0** dans le **C**. Le poids moyen pour la modalité **T3** est de **157** grammes. Pour les modalités **T1** et **T2** il est respectivement de **129** et **126** grammes. Enfin pour le témoin **T0** il est de **111** grammes. Sur cette année 2014, seule la modalité (ANA+6-BA)/Mét ressort par rapport aux autres sur le plan de l'efficacité dans la chute des fruits et une augmentation significative du calibre des pommes.

En 2015, il y a une différence significative dès la mesure du taux de fructification entre les modalités traitées et le témoin. **T1** et **T2** forment un groupe homogène **B**, **T3** un second, **C**, et le témoin **T0** un dernier, **A**. Concernant le nombre de fruits récoltés par arbre après éclaircissage manuel, il n'y a pas de différence significative, après analyse statistique, entre les 4 modalités étudiées. Par contre, sur le nombre de fruits éclaircis par arbre, la modalité **T3** se détache des autres pour former le groupe **C**, avec **51** fruits enlevés. **T0** et **T1** font également partie d'un groupe distinct : **A** et **B** avec respectivement **230** et **125** fruits enlevés par arbre. Seule la double application de métamitrones, **T2**, ne se différencie pas, sur le plan statistique, des modalités **T1** et **T3**, puisqu'il constitue le groupe **BC**, avec **84** fruits enlevés par arbre.

		par arbre					
Année	Modalité	Taux de fructification		Nb fruits récoltés		Poids moyen d'un fruit	
2014	T0	106	A	350	A	126	B
	T1	59	B	286	A	145	B
	T2	14	C	61	B	206	A
	T3	29	C	125	B	202	A
2015	T0	106	A				
	T1	65	B				
	T2	9	C				
	T3	38	BC				

T0=Témoin
 T1= (ANA+6-BA)/6-BA
 T2= Mét/Mét
 T3= (ANA+6-BA)/Mét

Sur cette année 2015, il apparaît que la modalité **T3** possède l'efficacité la plus importante vis-à-vis des deux autres : **T1** et **T2**. Néanmoins, il faut souligner le faible nombre de fruits à éclaircir pour la variété **Ariane** sous **T3** par rapport aux deux autres années ; ce phénomène se confirmant avec **T2**. On peut relever également que pour cette année la chute naturelle a été plus marquée que les deux précédentes. Les trois modalités **T1**, **T2** et **T3** ont certainement accentué ce phénomène naturel.

Les données obtenues sur trois années sur la variété Ariane n'offrent pas aujourd'hui des résultats définitifs quant à l'utilisation de la métamitronne dans une stratégie d'éclaircissage. Bien que la modalité **T3**, (ANA+6-BA)/Mét, soit la plus efficace en terme de chute des fruits et d'augmentation des calibres à la récolte par rapport à d'autres combinaisons d'éclaircissants. Celle-ci peut entraîner un sur-éclaircissage lorsque la charge initiale est faible, comme en 2015. La modalité **T1** avec l'application du mélange (ANA+6-BA) au stade 6-8mm, suivi de métamitronne à 330 ppm à 8-10mm, paraît être la meilleure stratégie à employer dans ce genre de situation. En effet, bien qu'elle puisse entraîner un éclaircissage manuel plus important, par rapport aux modalités utilisant de la métamitronne, cette stratégie permet d'avoir une charge en fruits/arbre convenable et un calibre moyen intéressant (supérieur deux années de suite à la double application de métamitronne).

c) Bilan des tests métamitronne sur Gala

Comme on peut le constater sur le **Tableau 10**, il y a une disparité entre les différents taux de fructification obtenus pour les 4 modalités. On distingue trois groupes statistiques homogènes, où **T0** et **T1** forment deux groupes distincts, respectivement **A** et **B**, et les modalités **T2** et **T3** sont regroupées dans un groupe **C**. Pour les données sur la charge fructifère et le poids moyen par fruit, les modalités **T0** et **T1** sont dans un groupe et **T2** et **T3** dans un second groupe statistique homogène. Au niveau du nombre de fruits par arbre les écarts sont très marqués entre le témoin et (ANA+6-BA)/6-BA et les deux stratégies d'éclaircissage utilisant de la métamitronne. En effet, on trouve plus de **4.5** fois moins de fruits par arbre pour les micro-parcelles de **T2**, avec **61** fruits, par rapport à celles de **T1**, avec **286**, et même près de **5.8** fois moins de fruits par rapport au témoin. Bien que l'on trouve des fruits d'un calibre moyen nettement plus important pour la modalité **T2** en comparaison de **T1** et **T0**, le constat est qu'une double application de métamitronne à 330 ppm sur la variété Gala est bien trop sévère en terme de chute des fruits. Par contre la modalité **T3** semble bien plus intéressante sur cette année 2014, puisqu'avec l'obtention d'un **calibre moyen équivalent** à celui de **T2**, le **nombre de fruits par arbre** est environ **deux fois supérieur**.

2. Comparaison des sensibilités variétales face à la métamitronne entre Fuji, Ariane et Gala en 2013, 2014 et 2015

a) Comparaison des résultats de l'année 2013 entre Fuji et Ariane

Comme on peut le voir sur la **Figure 19**, les différences de taux de fructification entre les deux variétés, Fuji et Ariane, sont très marquées. En effet, même le taux de fructification de la modalité (ANA+6-BA)/Mét sur Ariane est supérieur à celui des micro-parcelles témoin de Fuji.

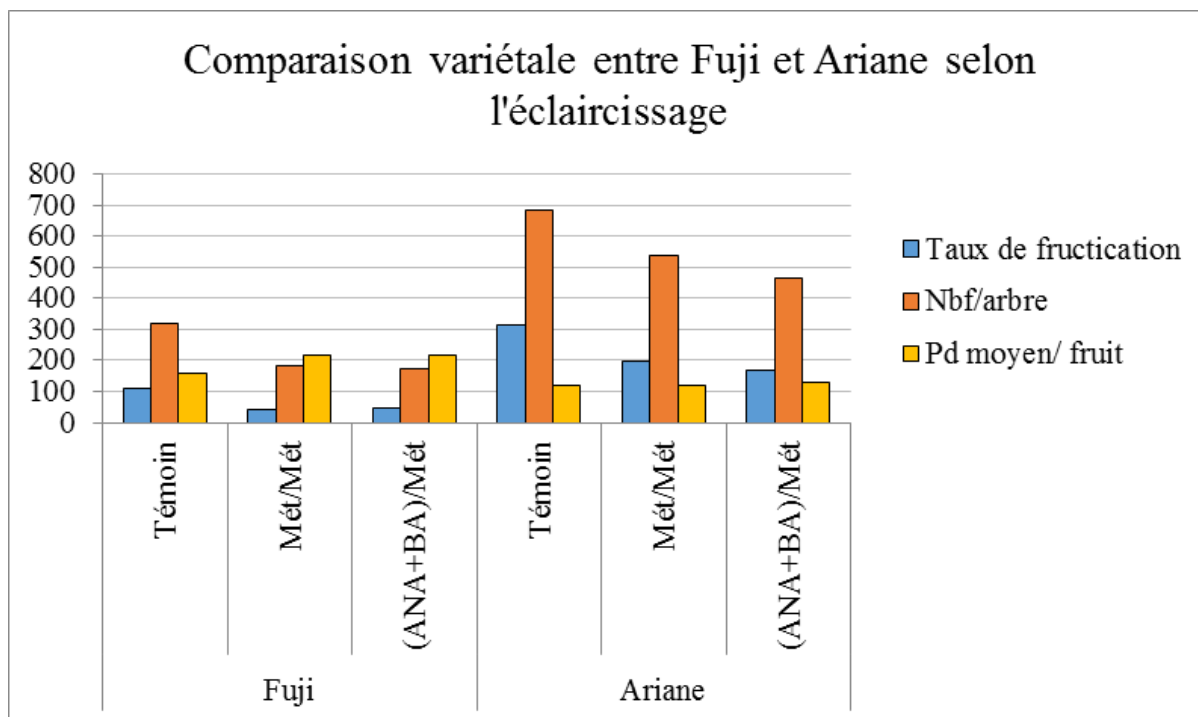


Figure 19 : Comparaison du taux de fructification, de la charge en fruits et du calibre moyen entre les variétés Ariane et Fuji au CEFEL – 2013

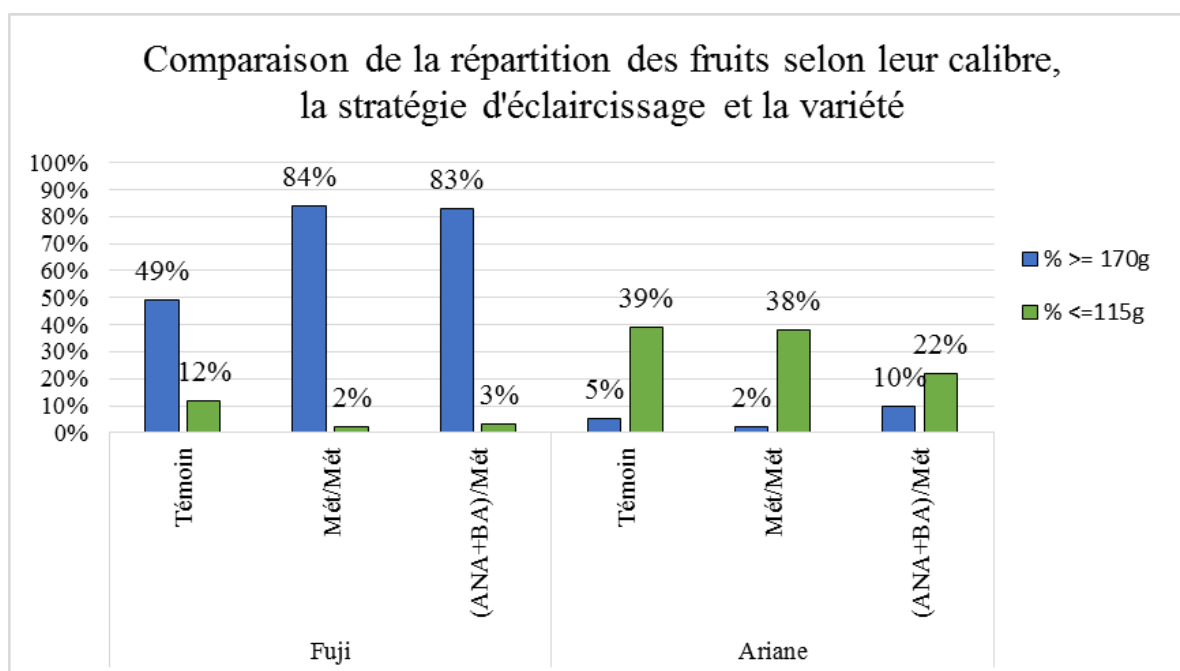


Figure 20 : Comparaison de la répartition des fruits en fonction de leur calibre et de la stratégie d'éclaircissage adoptée entre les variétés Ariane et Fuji au CEFEL – 2013

Pour les deux variétés on note que les stratégies d'éclaircissage ont été efficaces sur le taux de fructification et la charge en fruits. Toutefois, on ne distingue aucune différence significative entre les deux modalités traitées au niveau de la répartition du calibre. Pour Ariane on ne retrouve pas ce cas de figure avec le poids des fruits. Malgré une légère supériorité du poids pour la modalité (ANA+6-BA)/Mét par rapport aux deux autres, il apparaît que le calibre final obtenu à la récolte pour la variété Ariane soit équivalent pour les trois modalités suivies sur cette année 2013.

En analysant la **Figure 20**, on retrouve cette absence de différence significative entre les stratégies d'éclaircissages chez la variété Ariane concernant les résultats obtenus sur le calibre à la récolte. La **Figure 20** met en avant le pourcentage de pommes ayant un poids supérieur à 170 grammes, stade à partir duquel on considère qu'il y a une bonne valorisation du produit, et celui des fruits ayant un poids inférieur à 115 grammes, à partir de ce calibre les pommes se valorisent beaucoup moins bien. Pour la variété Ariane la majorité des fruits ont un calibre inférieur à 170 grammes et ce pour les trois modalités. Le traitement (ANA+6-BA)/Mét est celui qui obtient les meilleurs résultats avec **10%** de fruits supérieurs à 170 grammes et **22%** inférieurs à 115 grammes. Mais cela reste très en dessous des objectifs à atteindre avec un traitement éclaircissant. La stratégie d'éclaircissage avec une double application de métamitronne obtient même une plus faible part de fruits à plus de 170 grammes (**2%**) que pour les micro-parcelles témoins (**5%**). Le pourcentage de fruits en dessous de 115 grammes est même équivalent entre ces deux modalités, **39%** pour le témoin et **38%** pour la double application de métamitronne. Lorsque l'on passe à la variété Fuji c'est le contraire, pour les deux stratégies employant de la métamitronne on obtient **84%** pour **Mét/Mét** et **83%** pour **(ANA+6-BA)/Mét** de fruits supérieurs à 170 grammes. Il est intéressant de noter que l'on obtient à la récolte seulement **2%** de fruits au calibre inférieur à 115 grammes pour la double application de métamitronne et **3%** pour la seconde modalité traitée à un éclaircissant. Certes, ces résultats sont à relativiser puisque Fuji est une variété dont le poids moyen des fruits est généralement supérieur à celui que l'on trouve chez Ariane. On peut d'ailleurs constater cela avec les résultats pour les micro-parcelles non traités où on obtient **49%** des fruits à plus de 170 grammes et seulement **12%** en dessous de 115 grammes. Sur cette année, la molécule éclaircissante, métamitronne, a apporté un vrai plus pour la variété Fuji avec une large augmentation du calibre par rapport au témoin. Toutefois, aucune distinction ne peut se faire entre les deux stratégies employant de la métamitronne. Les deux apportant des résultats équivalents. Pour Ariane, l'apport de la métamitronne n'a presque pas fait évoluer le calibre des fruits, bien qu'elle ait fait diminuer la charge comme on peut le voir sur la **Figure 19**. On peut, néanmoins, émettre l'hypothèse que la parcelle utilisée pour l'expérimentation ne soit pas dans les conditions optimales. En effet, même les résultats de calibres obtenus pour le témoin sont bien en deçà de ce que l'on peut trouver chez un producteur.

Cependant, l'utilisation de cette molécule inhibitrice de photosynthèse n'a pas entraîné une amélioration des rendements sur cette parcelle d'Ariane.

b) Comparaison des résultats de l'année 2014 entre Fuji, Ariane et Gala

Comme pour l'année 2014, c'est la variété Ariane qui possède les taux de fructification les plus élevés, même en les comparant à ceux de Gala, comme on peut le constater sur la **Figure 21**.

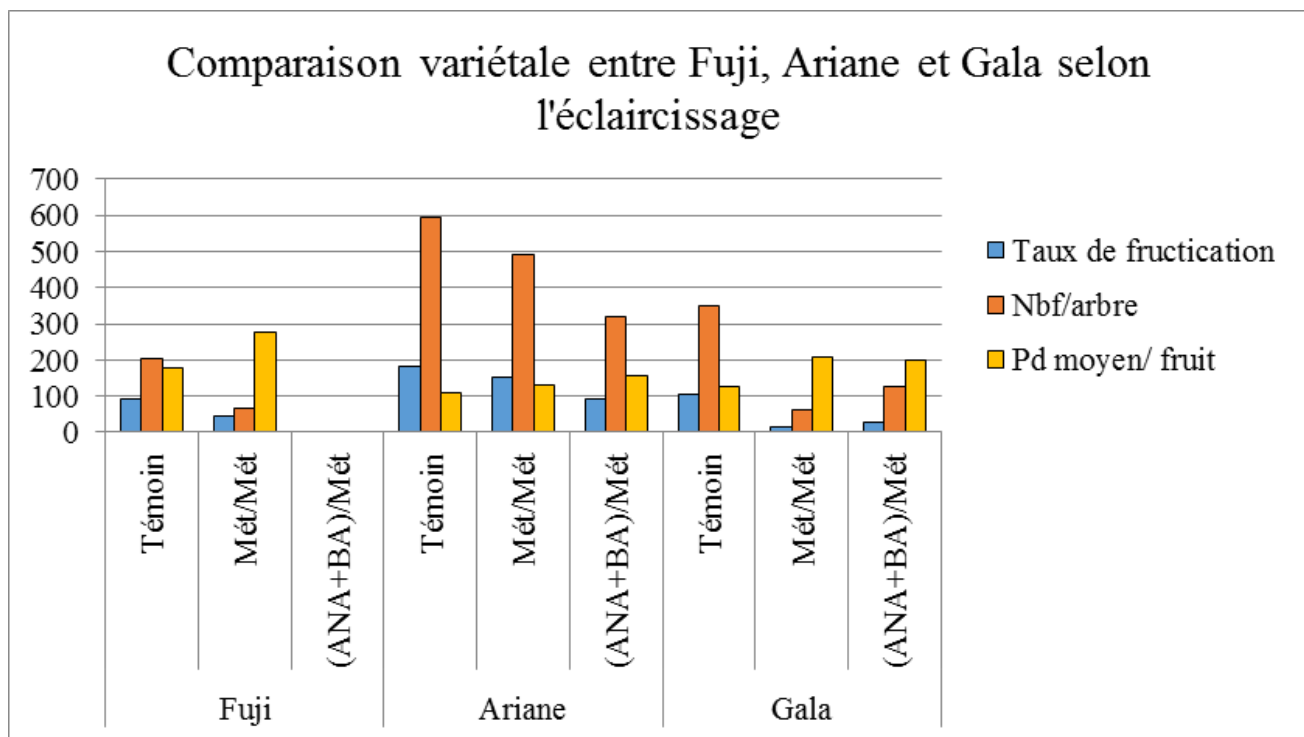


Figure 21: Comparaison du taux de fructification, de la charge en fruits et du calibre moyen entre les variétés Fuji, Ariane et Gala au CEFEL – 2014

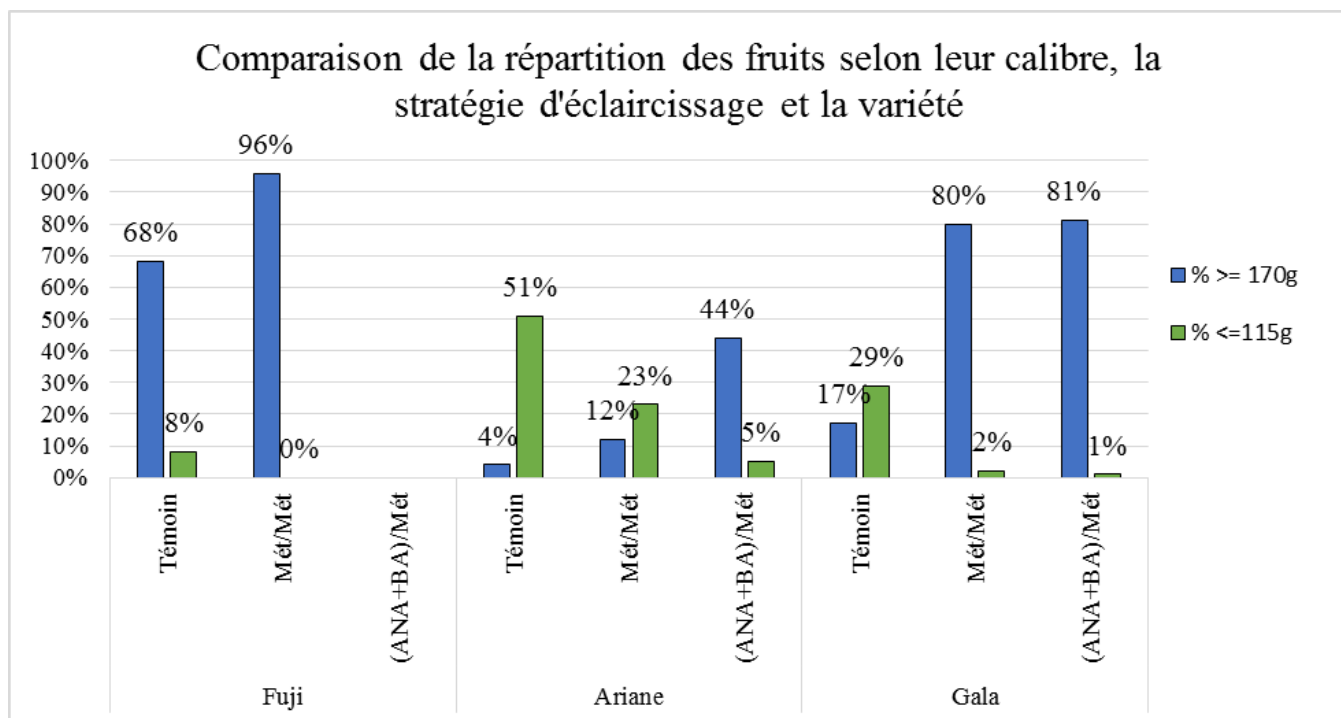


Figure 22 : Comparaison de la répartition des fruits en fonction de leur calibre et de la stratégie d'éclaircissage adoptée entre les variétés Fuji, Ariane et Gala au CEFEL – 2014

Pour les trois variétés étudiées, les deux types de stratégies d'éclaircissage incluant de la métamitronne ont eu un impact significatif sur le taux de fructification, la charge, et le calibre des fruits. C'est encore avec la variété Ariane que les différences sont les moins marquées entre les micro-parcelles et les traitées. En effet, bien que la charge des arbres soit clairement diminuée par rapport au témoin, surtout avec la modalité **(ANA+6-BA)/Mét**, on note que le calibre n'augmente que légèrement pour la double application de métamitronne. C'est mieux en revanche pour **T3** en comparaison de 2013. Cette même modalité n'a pu être testée cette année là, concernant Fuji. Sur cette dernière, on note tout de même une diminution de la charge avec **T2** par rapport au témoin. Ce qui a entraîné une augmentation de calibre de près de **100 grammes**. La molécule inhibitrice de photosynthèse était testée pour la première fois au CEFEL en 2014. Sur cette première année d'expérimentation la charge fruitière a subi une forte baisse pour **T2** et **T3**, mais avec derrière une belle augmentation de calibre de près de **80 grammes** dans les deux cas par rapport au témoin non traité.

La répartition des calibres obtenus à la récolte pour la variété Ariane est bien plus intéressante sur cette année 2014 qu'en 2013 avec la modalité **(ANA+6-BA)/Mét**. Comme indiqué sur la **Figure 22**, le pourcentage de pommes à plus de 170 grammes est de **44%** pour cette modalité. Soit un écart de près de **40 points** avec le témoin. Par contre, la double application de métamitronne n'atteint pas de résultat satisfaisant avec seulement **12%** des fruits avec un calibre supérieur à 170 grammes. Même si on relève **23%** de fruits en dessous de 115 grammes, ce qui représente une part plus de deux fois inférieure à celle observée chez le **témoin** avec **51%**. Pour la variété Gala, les résultats sont très nets. Il y a une proportion équivalente de calibres de pommes au-dessus de 170 grammes pour **T2** et **T3** avec respectivement **80%** et **81%**, ce qui est largement supérieur au **témoin** avec **17%**. Ces données sont d'autant plus valorisantes pour l'utilisation de métamitronne qu'il n'y a presque pas de fruits de calibre inférieur à 115 grammes pour les deux modalités traitées **T2** et **T3** avec respectivement **2%** et **1%**, alors qu'on en dénombre **29%** dans la partie témoin. Globalement les fruits étaient d'un calibre bien supérieur aux autres variétés pour Fuji en cette année 2014. Rien que pour la partie **témoin**, il y a **68%** de fruits dont le poids est supérieur à 170 grammes et seulement **8%** en-dessous de 115 grammes. Ce qui démarque encore plus Fuji des autres variétés pour cette année c'est qu'il n'y a, pour la **double application de métamitronne**, **aucun fruit** dont le poids est inférieur à 115 grammes. De plus, on dénombre **96%** de pommes, dans cette même modalité **T2**, dont le calibre est supérieur à 170 gramme. Bien que la métamitronne amène une augmentation de calibre très intéressante cela se fait au détriment d'une diminution de la charge particulièrement intense pour les variétés Gala et Fuji, sur cette année 2014. Pour la première, la double application de métamitronne, ce qui représente 660 ppm de produit, est clairement trop puissante avec à peine 60 fruits par arbre. La modalité **T3** paraît sur cette année être la plus judicieuse avec un calibre équivalent à **T2** mais une charge plus importante, bien que cette dernière reste faible. Contrairement à 2013, la modalité **T2** a entraîné une chute des fruits très importante et même trop puisqu'on relève moins de 100 fruits par arbre pour la variété Fuji. Cette alternance d'intensité d'éclaircissage est typique de cette variété. Mais cette différence entre deux années consécutives peut également s'expliquer sur les conditions d'application des éclaircissants.

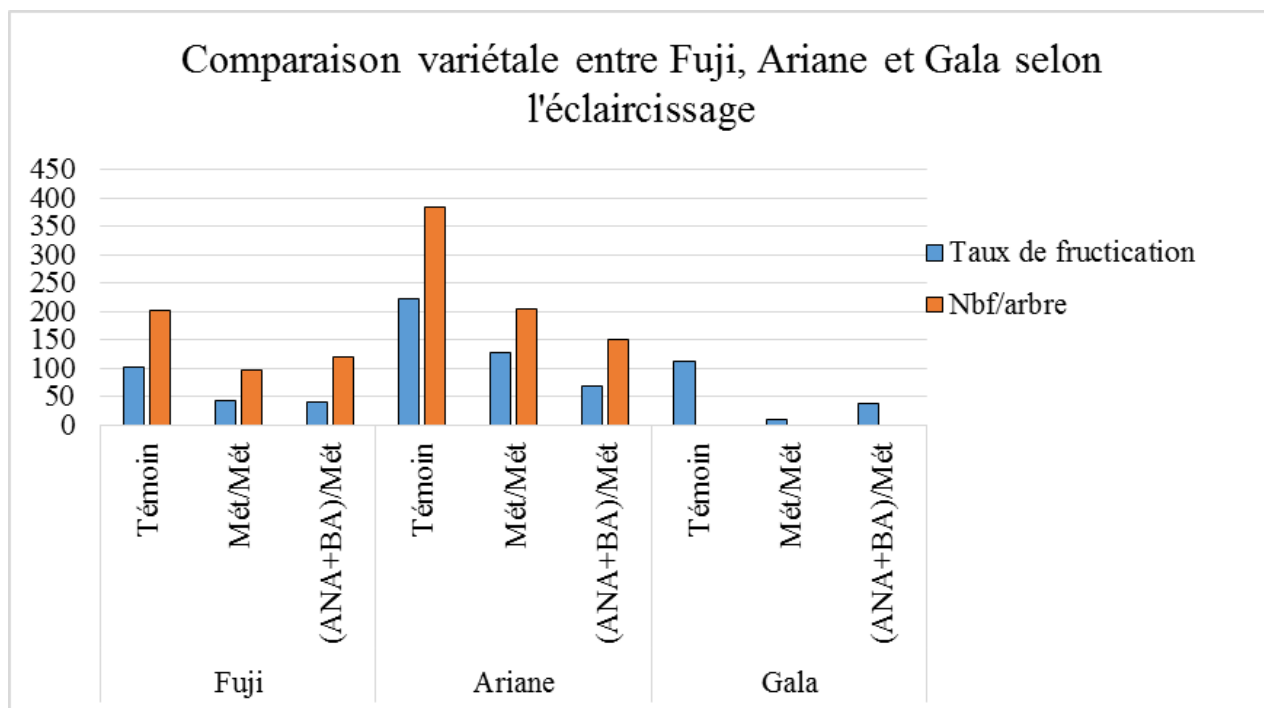


Figure 23 : Comparaison du taux de fructification et de la charge en fruits entre les variétés Fuji, Ariane et Gala au CEFEL - 2015

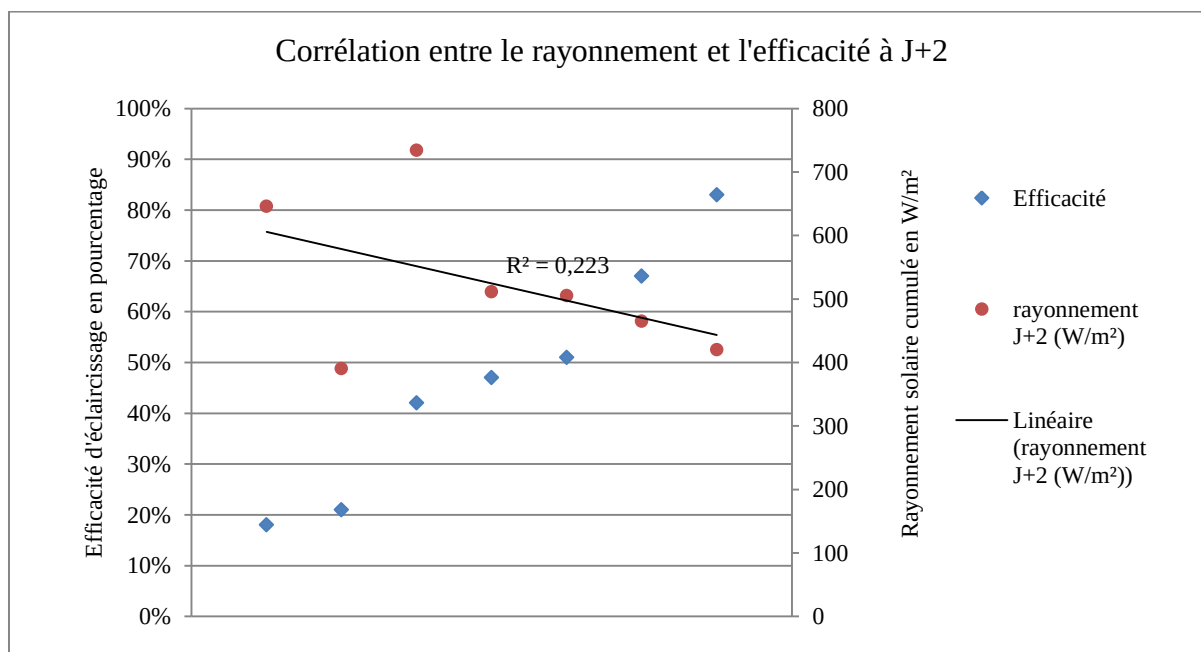


Figure 24 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, double application de métamitron, et le cumul du rayonnement (W/m²) deux jours après le premier traitement – CEFEL

c) Comparaison des résultats de l'année 2015 entre Fuji, Ariane et Gala

Comme pour les deux premières années, 2015 confirme que l'emploi de la métamitrone diminue la charge des fruits de manière significative sur les variétés Ariane et Fuji par rapport au témoin. Pour la première, on obtient des résultats prometteurs avec **200 et 150 fruits** de moyenne par arbre pour les modalités **T2** et **T3**, ce qui correspond aux objectifs attendus sur cette parcelle. Les données des calibres à la récolte ne sont pas encore arrivées à l'heure de la rédaction de ce rapport. Ces dernières pourraient atténuer ces bons résultats, comme cela a été le cas pour les deux années précédentes. Pour Fuji, l'éclaircissage a été de nouveau très efficace avec une **petite centaine de fruits par arbre pour la double application de métamitrone** et à peine plus, **119 fruits/arbre**, avec **T3**. Avec une charge aux alentours de **200 fruits/arbre** pour le **témoin**, la variété Fuji n'aurait quasiment pas dû subir d'éclaircissage chimique, d'où la faible charge observée dans les micro-parcelles traitées. Les traitements de métamitrone ont été particulièrement intensifs sur la chute des jeunes fruits sur Gala, en particulier la double application du produit. Pour cette variété, on ne dénombre que, pour **T2** et **T3**, des taux de fructification respectivement de **9** et **38**.

3. Quel impact des conditions climatiques sur l'efficacité éclaircissante de la métamitrone sur les essais menés au CEFEL ?

Afin de mettre en avant l'existence d'une relation entre les conditions climatiques lors de l'application de métamitrone et l'efficacité d'éclaircissage de cette dernière, deux stratégies ont été choisies. La première est une double application de métamitrone aux stades 6-8 et 8-10mm à la dose de 330 ppm. La seconde consiste en un mélange (ANA+6-BA) appliqué à 6-8mm suivie d'une application de métamitrone à 8-10mm à la dose de 330 ppm.

a) Analyse des conditions climatiques lors du traitement : Métamitrone à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitrone à 330 ppm à 8-10mm

1^{ère} application :

Sur les années 2013, 2014 et 2015 aucune corrélation n'a pu être faite entre le rayonnement lumineux quotidien en W/m^2 et l'efficacité d'éclaircissage de la double application de métamitrone. Le coefficient de détermination R^2 le plus élevé est celui obtenu **2 jours** après traitements avec **$R^2=0.223$ (Figure 24)**. Bien que l'on constate, sur la **Figure 24**, que plus le rayonnement (W/m^2) est faible plus l'efficacité d'éclaircissage est élevée, le coefficient est bien trop faible pour que l'on puisse considérer cette observation comme acquise. Toutes les autres corrélations autour de la luminosité et l'efficacité d'éclaircissage n'ont donné que de moins bons résultats (**Annexe 3**).

Tout comme avec le rayonnement, aucune corrélation significative n'a pu être mise en avant entre la température nocturne, dans les 5 jours après traitements, et la double application de métamitrone. Le coefficient de détermination le plus significatif est trouvé au bout du **deuxième jour** après traitement avec un **$R^2=0.1913$ (Figure 25)**. On observe sur la **Figure 25** une tendance montrant que l'efficacité augmente plus la température nocturne est élevée. Mais avec un coefficient aussi faible on ne peut pas considérer cela comme étant acquis.

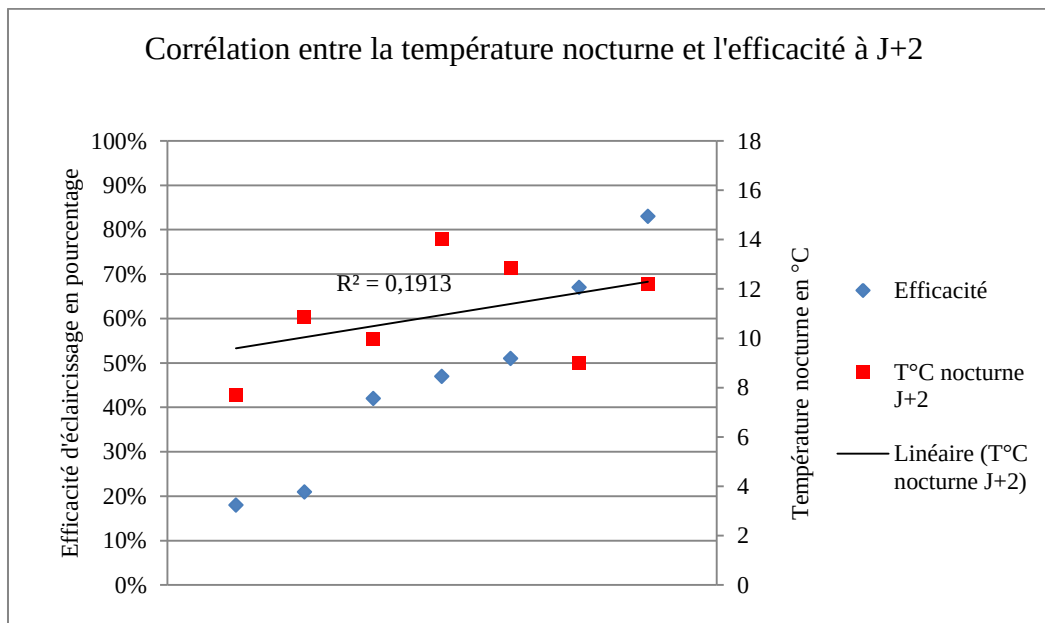


Figure 25 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, double application de métamitron, et la température nocturne (°C) deux jours après le premier traitement – CEFEL

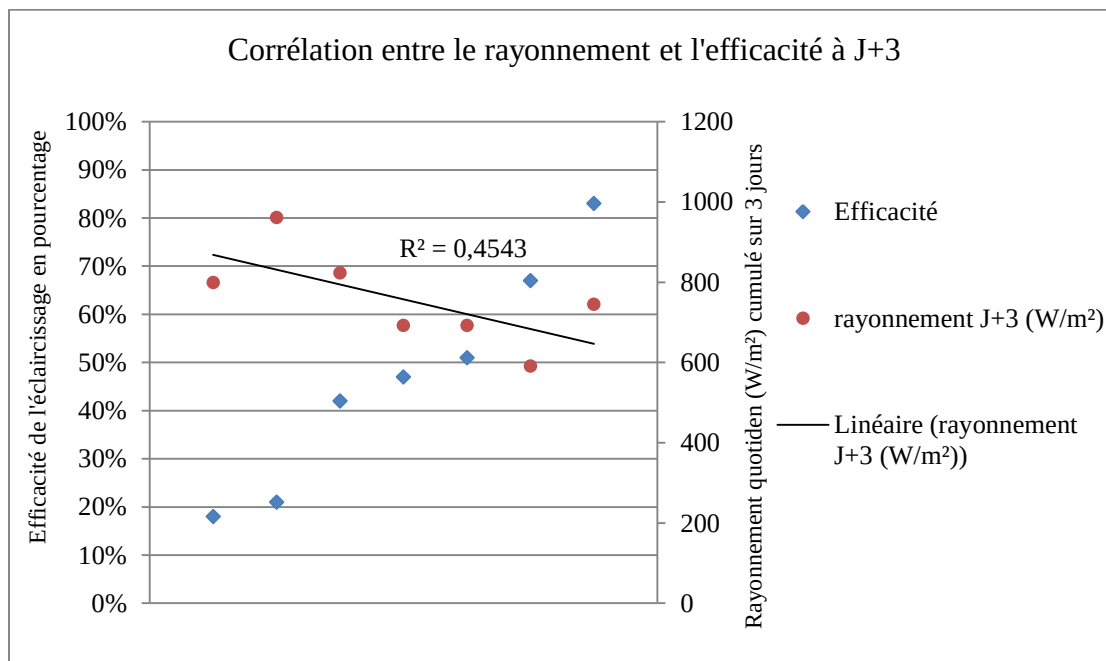


Figure 26 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, double application de métamitron, et le cumul du rayonnement (W/m²) trois jours après le second traitement – CEFEL

De plus, l'analyse de la température nocturne sur les autres jours après traitement montrent des coefficients insignifiants ($R^2 < 0.08$), avec des tendances évoluant dans le sens inverse à celles présentées dans la **Figure 25** et la bibliographie (**Annexe 4**). C'est-à-dire, une efficacité qui augmenterait, plus la température nocturne est basse.

En prenant en compte la température moyenne quotidienne on trouve encore moins de corrélation avec l'efficacité d'éclaircissage avec des coefficients de détermination, pour la plupart, $R^2 < 0.1$ (**Annexe 5**). 5 jours après traitements, le coefficient est $R^2 = 0.2003$, ce qui en fait le plus élevé dans la température moyenne sur 24 heures (**Annexe 5**). Mais le graphique tend à montrer que plus les températures quotidiennes sont froides, plus l'efficacité de la double application de métamitronne est importante. Ce constat va à l'encontre des observations révélées par la bibliographie qui mettait en avant l'existence d'un lien entre chaleur et chute consécutive des jeunes fruits.

Concernant maintenant le pourcentage d'humidité relative dans les 4 heures suivant la première application de métamitronne, il n'y a aucune corrélation qui peut être faite avec l'efficacité d'éclaircissage. Tous les coefficients de détermination sont inférieurs ou égales à 0.0122 (**Annexe 6**).

2^{ème} application :

Le R^2 obtenu, trois jours après le second traitement, sur la corrélation entre le rayonnement et l'efficacité de l'éclaircissage est le plus élevé sur les 5 jours étudiés. On obtient $R^2 = 0.4543$ (**Figure 26**), où on observe que plus la luminosité est faible plus l'éclaircissage est efficace. Deux, quatre et cinq jours après le second traitement le R^2 reste supérieur à 0.3 (**Annexe 7**) avec toujours cette même tendance. Dans l'ensemble il y a une corrélation supérieure à la première application pour la seconde. Mais on reste sur un coefficient de détermination faible ($R^2 < 0.5$) pour affirmer que le rayonnement lumineux a une influence significative sur l'efficacité d'éclaircissage de la métamitronne en deux applications. Il semble que sur trois années de tests et trois variétés différentes, la luminosité lors de la deuxième application de cette molécule inhibitrice de photosynthèse, ait le plus d'influence sur l'efficacité de la chute des jeunes fruits.

Les températures nocturnes, pendant les cinq jours suivant la deuxième application de métamitronne, ne montrent aucune influence sur l'efficacité de l'éclaircissage. Dans la lecture des graphiques (**Annexe 8**), on constate qu'il n'existe pas de corrélation entre ces deux facteurs sur les trois années et variétés prises en compte pour l'étude. Pour les deux applications de métamitronne, les conditions de température nocturne ne paraissent pas jouer un rôle particulier sur l'efficacité de la chute des jeunes fruits.

Pour la température moyenne sur 24 heures, il n'existe pas de corrélation réelle avec l'efficacité d'éclaircissage. C'est seulement les conditions du troisième jour après le second traitement qui offre le coefficient de détermination le plus élevé avec $R^2 = 0.3235$ (**Figure 27**). Mais le graphique indique une nouvelle fois une tendance contraire à celle attendue. Selon la **Figure 27**, plus la température moyenne sur 24 heures est basse plus l'efficacité de la métamitronne est importante. Les données relevées pendant les 4 autres journées suivant le second traitement de métamitronne présentent des coefficients plus faibles que pour la **Figure 27** et une tendance inverse à celle attendue voire aucune (**Annexe 9**).

Concernant le pourcentage horaire de l'humidité relative dans le verger prélevé pendant quatre heures après le second traitement de métamitronne, on ne peut faire aucune corrélation entre ce facteur et l'efficacité d'éclaircissage (**Annexe 10**). De plus, aucune tendance ne ressort de l'analyse des graphiques (**Annexe 10**).

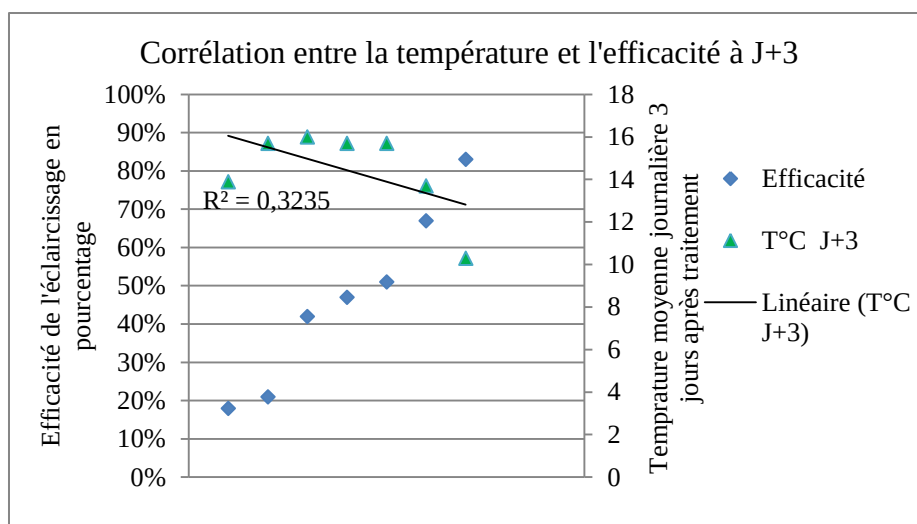


Figure 27 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, double application de métamitron, et la température quotidienne (°C) trois jours après le second traitement - CEFEL

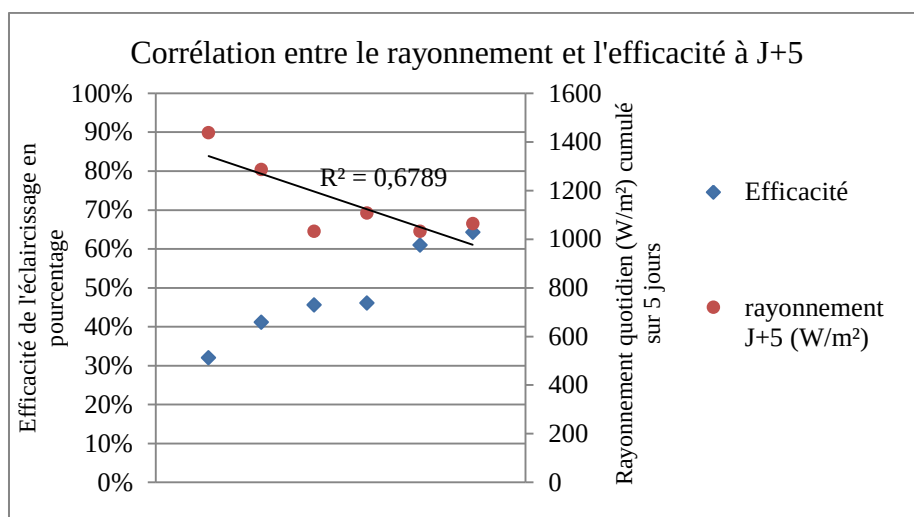


Figure 28: Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, (ANA+6-BA)/Mét, et le cumul du rayonnement (W/m²) cinq jours après le traitement de métamitron – CEFEL

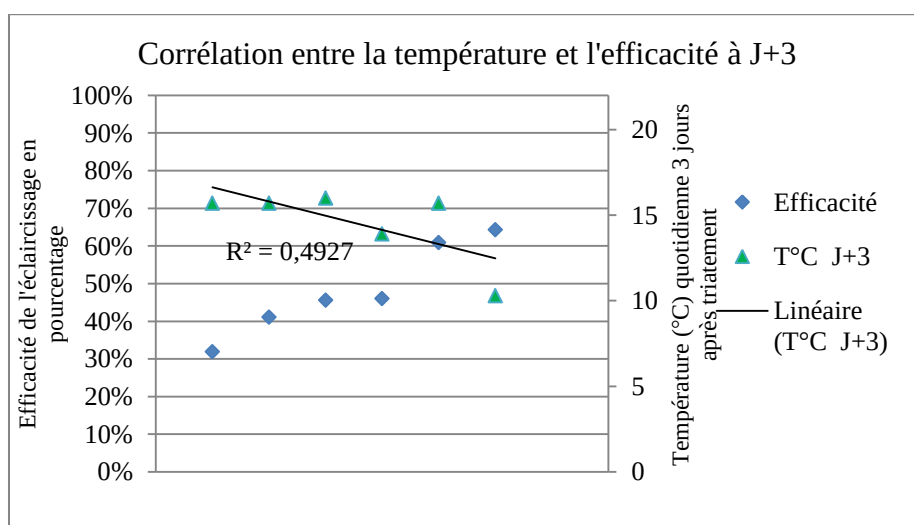


Figure 29 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, (ANA+6-BA)/Mét, et la température quotidienne (°C) trois jours après le traitement de métamitron – CEFEL

A la suite de l'analyse des conditions météorologiques lors des essais menés sur Fuji, Ariane et Gala sur 2013, 2014 et 2015, on ne peut réellement faire de lien entre ces dernières et une variation de l'efficacité de la stratégie double application de métamitronne à 330 ppm aux stades 6-8 et 8-10mm. Le seul facteur environnemental qui semble avoir une influence lors de l'application de l'éclaircissant est le rayonnement en W/m^2 . Toutefois, les faibles coefficients de détermination obtenus font que l'on ne peut en faire un élément déterminant dans l'évaluation de l'efficacité de maîtrise de la charge fruitière de la métamitronne.

***b) Analyse des conditions climatiques lors du traitement :
(ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm
au stade 8-10mm***

Le coefficient de détermination le plus élevé, après corrélation entre le cumul du rayonnement et l'efficacité d'éclaircissage de l'application de métamitronne, est celui obtenu au bout de cinq jours après traitement avec $R^2=0.6789$ (**Figure 28**). On observe une tendance où l'efficacité de la chute des jeunes fruits est plus importante lorsqu'il y a une faible luminosité dans les cinq jours après traitement. Cette tendance apparaît dès le second jour après application de la molécule inhibitrice de photosynthèse avec un $R^2=0.4808$. Cela se confirme dans les jours qui suivent avec un R^2 qui augmente constamment jusqu'au cinquième (**Annexe 11**). Il semble que le rayonnement (W/m^2) ait une influence significative sur l'efficacité d'éclaircissage de la métamitronne lorsqu'elle est appliquée après un mélange (ANA+6-BA) et au stade 8-10mm à la dose de 330 ppm.

Pour cette stratégie d'éclaircissage les températures nocturnes relevées dans les cinq jours après application de la métamitronne ne permettent pas de conclure en faveur d'une influence significative de ces dernières sur l'efficacité du produit. En effet, on n'observe pas de corrélation entre ce facteur et le pourcentage de fruits chutés par rapport au témoin non traité. Aucune tendance n'apparaît, **aucun R^2 n'est supérieur à 0.1409** (**Annexe 12**).

Concernant la température quotidienne, on obtient le coefficient de détermination le plus élevé avec un $R^2=0.4927$ trois jours après l'application de l'éclaircissant (**Figure 29**). Néanmoins, la tendance observée est de nouveau l'inverse de celle de l'hypothèse de base. Il semblerait que plus la température est basse plus l'éclaircissage est efficace.

Avec l'humidité relative le meilleur coefficient de détermination est celui obtenu dans l'heure de l'application de métamitronne avec $R^2=0.3413$ (**Figure 30**). Ce coefficient reste trop faible pour statuer sur une influence de l'humidité au verger par rapport à l'efficacité du produit. La courbe de tendance de la **Figure 30** tend à montrer que plus l'humidité est faible, meilleur est l'éclaircissage. En analysant les quatre heures suivant le traitement du nouvel éclaircissant, bien que les coefficients de détermination soient plus faibles, les courbes de tendances vont dans le même sens (**Annexe 14**).

A la suite de ces trois années d'essais sur Fuji, Ariane et Gala il semble que la luminosité ait, au moins cinq jours après traitement, un impact significatif sur l'efficacité de la métamitronne, lorsqu'appliquée après (ANA+6-BA). L'analyse des températures, sur 24 heures et nocturnes, ne montrent pas de corrélations significatives avec l'efficacité de l'éclaircissage qui vérifient les hypothèses de départ : plus la température est élevée, plus la chute des fruits est importante, en particulier la nuit (**Annexes 12 et 13**). Le faible nombre de parcelles présentes dans ces corrélations ainsi que leur grande disparité en fonction des années et/ou des variétés peuvent expliquer cette incohérence. Pour l'humidité relative, on se rend compte, en analysant chaque graphique (**Annexe 14**), que cette dernière est toujours comprise entre 50% et 90%.

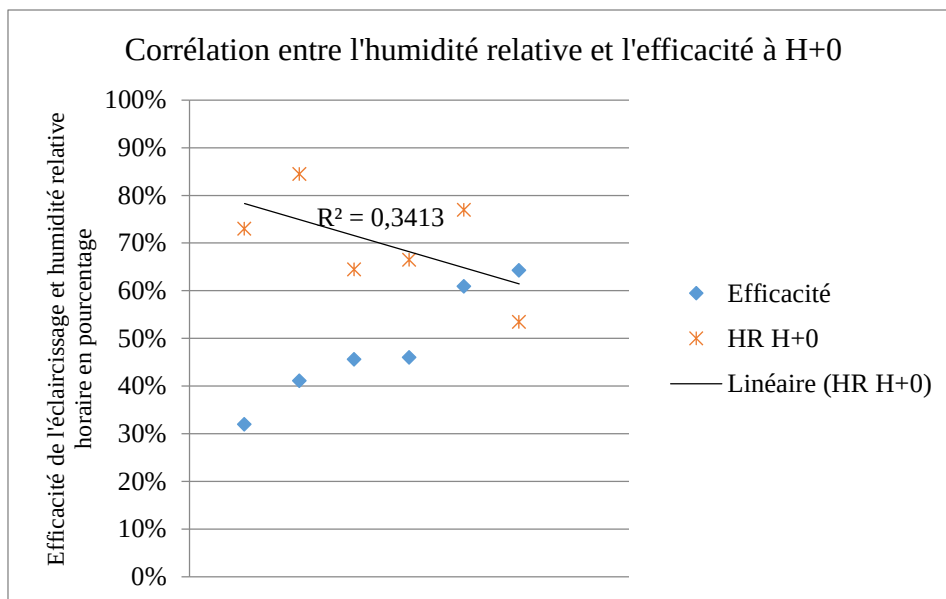


Figure 30 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, (ANA+6-BA)/Mét, et l'humidité relative (%) pendant l'heure du traitement de métamitron – CEFEL

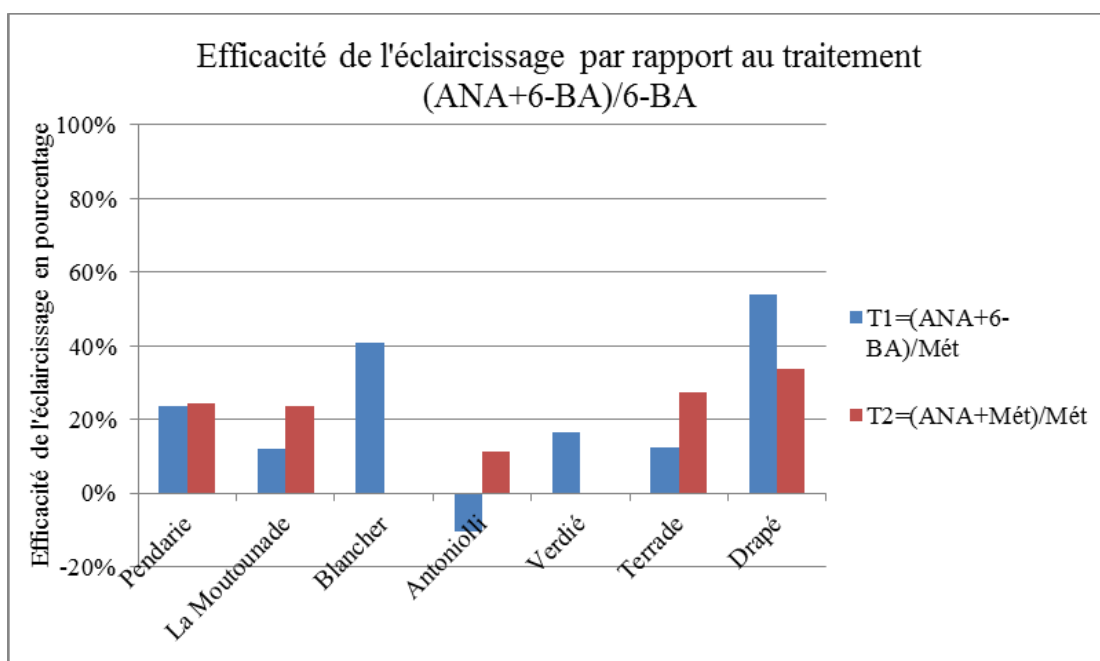


Figure 31 : Efficacité éclaircissante de la métamitron employée, sur grande parcelle, à la dose de 330ppm et 660ppm par rapport au traitement (ANA+6-BA)/6-BA sur la variété Gala

Or il s'agit de conditions propices à la pénétration optimale d'un éclaircissant dans le feuillage (Mathieu *et al.*, 2011). Cela pourrait, notamment, expliquer le fait qu'aucune corrélation significative ne soit apparue après ces trois années d'expérimentations. Le seul facteur qui semble avoir un impact sur l'intensité d'éclaircissage est le rayonnement solaire. On constate qu'il y aurait une corrélation entre ce paramètre et l'efficacité d'éclaircissage après l'application de métamitronne au stade 8-10mm, plutôt qu'à 6-8mm. On peut se demander si l'influence du rayonnement solaire ne se fait pas ressentir qu'à partir d'une certaine quantité de matière active éclaircissante absorbée par l'arbre, benzyladénine ou métamitronne, et non seulement selon le stade d'application de métamitronne.

C. Présentation et analyse des résultats obtenus chez les producteurs du Sud-Ouest

1. Comparaison de l'efficacité d'éclaircissage de la métamitronne, entre les vergers de producteurs sur les variétés Gala et Fuji

a) Les sept vergers de la variété Gala

La **Figure 31** met en avant l'efficacité de deux stratégies d'éclaircissage, (ANA+6-BA)/Mét et ANA+Mét/Mét, par rapport au traitement témoin de référence T0=(ANA+6-BA)/6-BA. Pour T1 il y a un total de 330 ppm de métamitronne appliquée en une fois et pour T2 il y a un total de 660 ppm de métamitronne appliquée en deux doses identiques. Mise à part une situation, les deux modalités ont des efficacités d'éclaircissage supérieures au traitement témoin. Dans trois cas, la modalité T2 cause une chute des jeunes fruits plus importante que T1 avec des écarts au minimum de **10 points** (La Moutounade, Antonioli et Terrade). Pour le verger Pendarie, les deux modalités T1 et T2 ont des efficacités équivalentes aux alentours de +20% par rapport au traitement témoin. Il n'y a que dans le verger Drapé que l'on trouve une situation où T1 a entraîné une chute des fruits bien plus importante que T2, avec un écart d'environ **20 points**. Toutefois, on ne peut déterminer quelle modalité donne l'éclaircissage le plus marqué, tant on observe une alternance au niveau des résultats. La répartition des fruits en fonction de leur calibre permet d'avoir plus de précisions sur les stratégies employées par les producteurs.

La **Figure 32** montre le pourcentage de fruits dont le poids est supérieur à 170 grammes en fonction du verger et de la modalité appliquée. Au sein de chaque parcelle étudiée, le témoin a toujours la part de fruits la plus faible au-dessus de 170 grammes par rapport aux deux autres modalités **T1** et **T2** traitées à la métamitronne. Ce constat se vérifie même chez Antonioli, où pourtant il y avait une charge plus importante pour **T1** en comparaison du témoin sans métamitronne **T0**. Bien que l'on trouve dans la **Figure 31** une alternance sur l'éclaircissage le plus efficace entre **T1** et **T2**, en fonction du verger, on ne retrouve pas cela dans la répartition des calibres. En effet, on constate que, mise à part un cas, c'est dans la modalité **T1** que l'on trouve la part la plus importante de fruits de calibre supérieur ou égal à 170 grammes (**Figure 32**). L'écart entre (ANA+6-BA)/6-BA et (ANA+6-BA)/Mét est assez marqué avec des différences allant de **15 à 60 points**. Entre T1 et T2, cet écart est moins important mais il existe avec des différences allant de **6 à 14 points**. Il n'y a que pour les vergers situés chez Antonioli et Terrade qu'aucune différence significative apparaît entre les modalités au niveau du calibre. On constate directement que dans ces deux parcelles il y a une faible part des fruits présents au-dessus de 170 grammes par rapport aux autres vergers. Ce qui diminue évidemment la possibilité d'avoir des écarts significatifs entre modalités dans ce cas de figure.

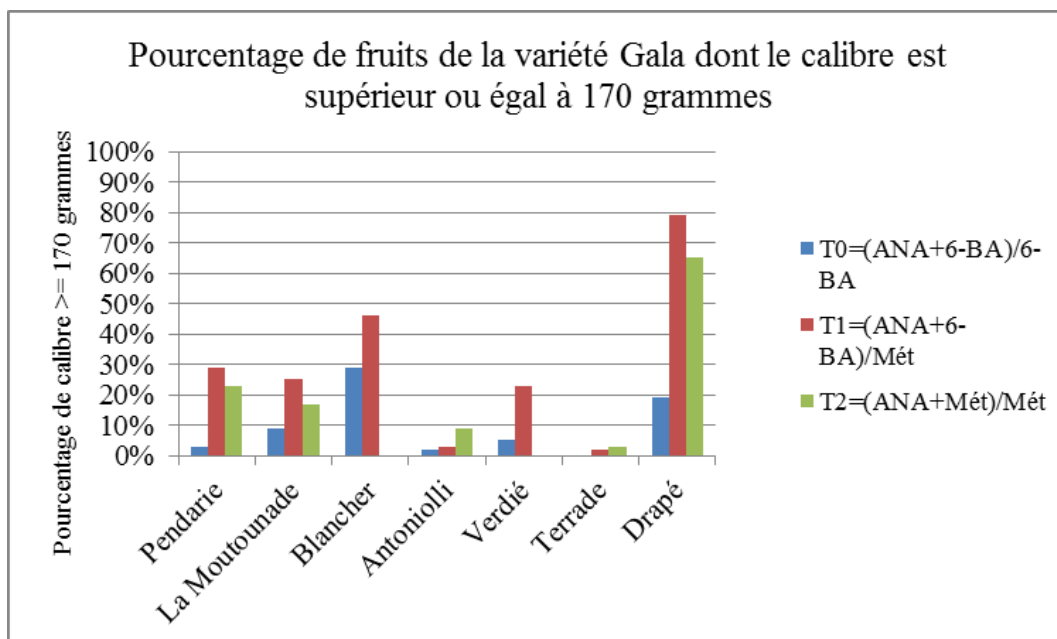


Figure 32 : Répartition, en fonction de la stratégie d'éclaircissage, du pourcentage de fruits dont le calibre est supérieur ou égal à 170 grammes sur la variété Gala 7 à 10 jours avant récolte

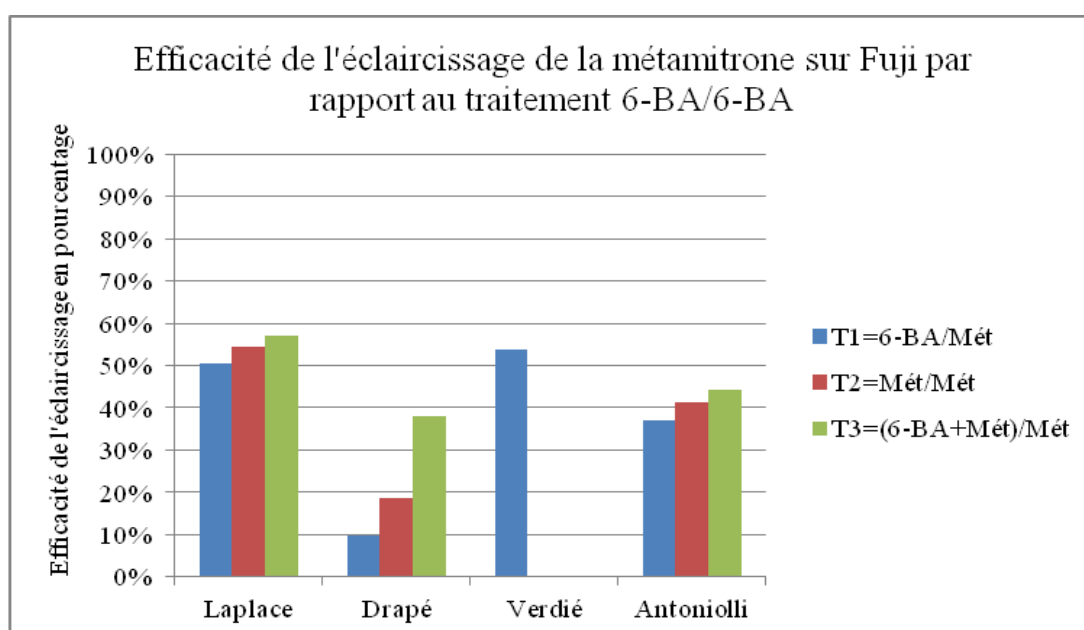


Figure 33 : Efficacité éclaircissante de la métamitronne employée, sur grande parcelle, à la dose de 330ppm à 660ppm par rapport au traitement 6-BA/6-BA sur la variété Fuji

Le fait que l'on trouve dans ces deux endroits un faible pourcentage de pommes avec un poids supérieur à 170 grammes s'explique, car la mesure de calibre a été effectuée trop précocement sur ces deux parcelles. Sur ce seul critère d'efficacité d'éclaircissage, les modalités **T1** et **T2** entraînent des chutes plus importantes que le traitement témoin, lorsqu'elles sont appliquées à la variété Gala.

D'après les résultats obtenus chez les producteurs de la variété Gala, c'est le traitement (ANA+6-BA)/Mét qui paraît être le plus adapté. En effet, avec ce dernier, on obtient une charge en fruits plus importante qu'avec (ANA+Mét)/Mét, mais également un pourcentage de pommes avec un calibre moyen supérieur à 170 grammes plus élevé que la modalité **T2**. La stratégie d'éclaircissage témoin (ANA+6-BA)/6-BA est dans tous les vergers étudiés celle qui apporte les résultats les moins probants. En effet, dans toutes situations les parcelles témoins sont celles avec la charge en fruits la plus élevée mais également celles avec le pourcentage de fruits à plus de 170 grammes le plus faible. Dans le cas de la variété Gala, la métamitronne semble apporter un plus sur la qualité de la récolte, non négligeable, par rapport aux stratégies utilisant de la benzyl adénine.

b) Les quatre vergers de la variété Fuji

Dans les quatre vergers testés, de variétés Fuji, l'efficacité de l'éclaircissage des modalités **T1**, **T2** et **T3** est toujours supérieure à celle mesurée de la stratégie témoin 6-BA/6-BA (**Figure 33**). Toutes modalités confondues, l'efficacité d'éclaircissage va de 10% à plus de 55% de fruits chutés par rapport au témoin. Dans les trois parcelles où **T1**, **T2** et **T3** ont été appliquées c'est toujours 6-BA+Mét/Mét qui a l'éclaircissage le plus efficace, suivie de Mét/Mét puis de 6-BA/Mét. Mis à part le verger Drapé, on n'observe pas de différence significative entre les modalités présentant de la métamitronne. Dans trois parcelles sur quatre, il y a au minimum plus de 35% de jeunes fruits tombés en plus, par rapport au témoin, lorsque l'on applique de la métamitronne et ce peu importe le nombre d'applications et leur dose. Sur cette année 2015, aucune modalité entre **T1**, **T2** et **T3** ne se détache réellement et l'on peut considérer que sur la variété Fuji ces trois stratégies ont une efficacité d'éclaircissage équivalente.

2. Quel impact des conditions météorologiques sur l'efficacité d'éclaircissage de la métamitronne dans les parcelles des producteurs de Gala

a) Analyse des conditions climatiques lors du traitement sur 5 vergers : (ANA+6-BA) au stade 6-8 mm suivie de Métamitronne à 330 ppm au stade 8-10 mm

Dès le premier jour d'application de la métamitronne, on trouve une très bonne corrélation entre l'efficacité de l'éclaircissage et le rayonnement quotidien (W/m^2) (**Figure 34**). Le coefficient de détermination est alors $R^2=0,9353$. Néanmoins, cela ne confirme pas l'hypothèse de base : l'éclaircissage avec la métamitronne est plus efficace lorsque le rayonnement est faible (ciel couvert). Là, comme on peut le voir sur la **Figure 34**, la meilleure efficacité a correspondu avec le rayonnement le plus élevé sur 24 heures, plus de $250 W/m^2$. Cela coïncide avec une journée très ensoleillée. Dans les 5 jours qui ont suivi le traitement aucune corrélation ne peut être faite entre l'efficacité d'éclaircissage de la métamitronne sur Gala et le rayonnement solaire (**Annexe 15**).

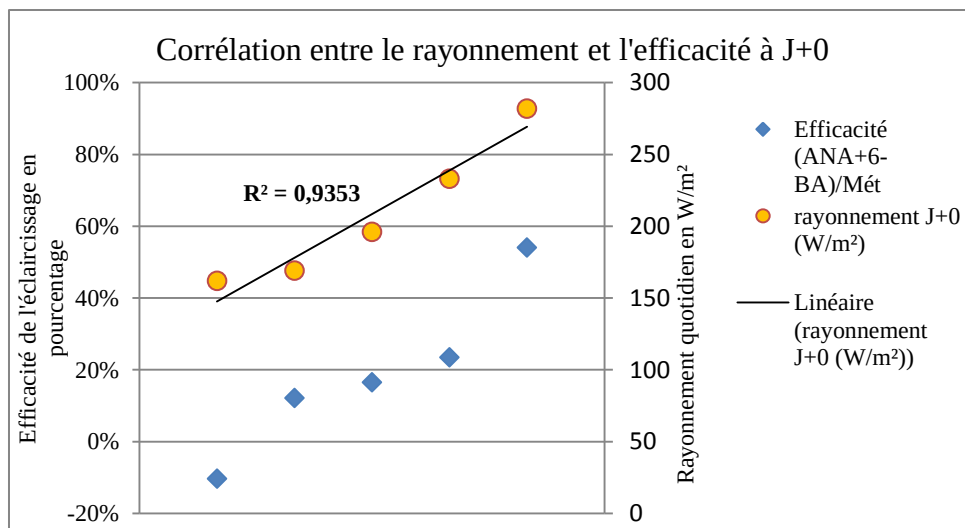


Figure 34: Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, (ANA+6-BA)/Mét, et le cumul du rayonnement (W/m²) le jour du traitement de métamitron – Producteurs de Gala

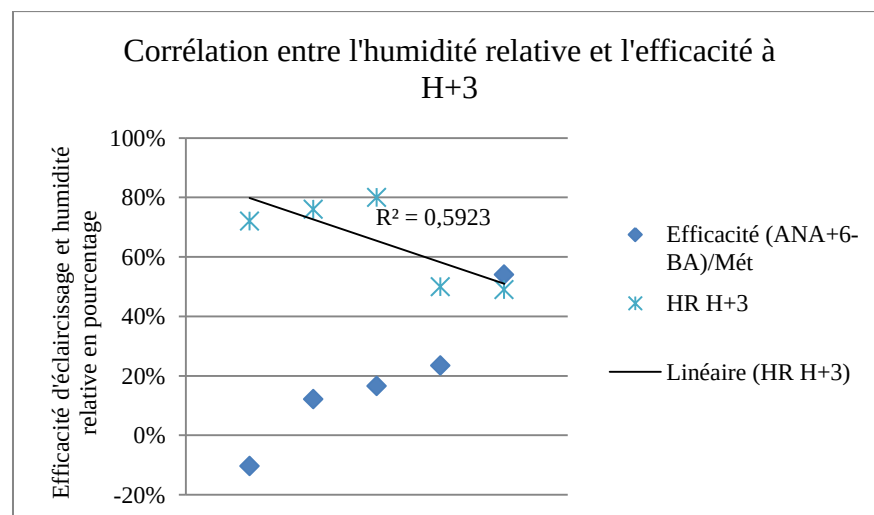


Figure 35: Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, (ANA+6-BA)/Mét, et le cumul de l'humidité relative 3 heures après l'application de métamitron – Producteurs de Gala

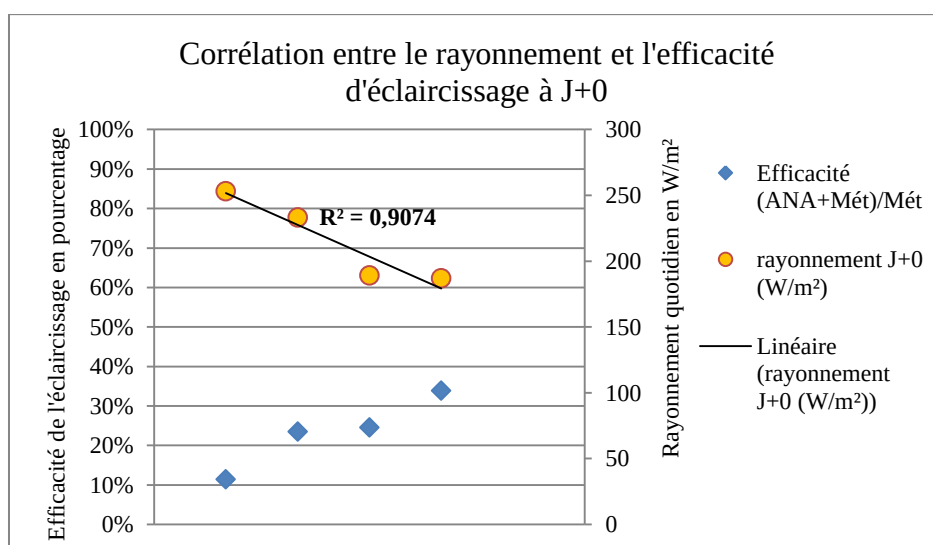


Figure 36: Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, Mé/Mét, et le cumul du rayonnement (W/m²) le jour de la première application de métamitron – Producteurs de Gala

Pour les températures nocturnes et quotidiennes aucune corrélation n'est ressortie sur l'analyse des cinq journées après application de la molécule inhibitrice (**Annexe 16 et 17**). Au niveau de l'humidité relative, le coefficient de détermination le plus intéressant est celui obtenu trois heures après application de la métamitrone, $R^2=0,5923$ (**Figure 35**). Selon ce résultat, plus l'humidité relative est basse, plus l'efficacité de l'éclaircissage de la molécule est élevée. Or, on se rend compte que, chez tous les producteurs enquêtés, les conditions d'humidité relative dans les quatre heures après application du produit sont comprises entre 50% et 80% (**Annexe 18**). Ce qui correspond à des situations toujours propices à l'absorption de la substance par le feuillage. Dans ce cas, on ne peut pas conclure quant à une influence de l'humidité relative sur l'efficacité de la métamitrone au niveau de la chute des jeunes fruits.

b) Analyse des conditions climatiques lors du traitement sur quatre vergers: Métamitrone à 330 ppm à 6-8 mm suivie de Métamitrone à 330 ppm à 8-10 mm

1^{ère} application :

Après analyse du rayonnement sur 24 heures le jour de la première application de métamitrone dans les vergers de producteurs de Gala, la corrélation obtenue avec l'efficacité d'éclaircissage est très correcte (**Figure 36**). Le coefficient de détermination est $R^2=0,9074$. Après cette corrélation, on en déduit que plus la luminosité est faible, plus l'éclaircissage est efficace. Ce constat ne confirme pas l'hypothèse de départ. Toutefois, dans les cinq jours suivants la première application de la métamitrone on ne retrouve pas de bonne corrélation allant dans ce sens (**Annexe 19**). Pour la température nocturne, tout comme celle prise sur 24 heures, on n'obtient pas de corrélation significative montrant que l'efficacité d'éclaircissage du produit augmente lorsque la température est élevée (**Annexe 20 et 21**). Il en va de même pour l'humidité relative, où cette dernière est toujours comprise entre 50 et 90% dans tous les vergers étudiés et sur la période de 5 jours après traitement (**Annexe 22**).

2^{ème} application :

Tout comme pour la 1^{ère} application de métamitrone, il n'existe pas de corrélation significative entre la température nocturne et l'efficacité d'éclaircissage 5 jours après le traitement (**Annexe 24**). Par contre au bout du troisième jour après la seconde application on trouve une corrélation de $R^2>0,6$ concernant la température quotidienne où la courbe de tendance est croissante. C'est-à-dire que, plus la température est élevée plus l'éclaircissage est efficace. Néanmoins, cette tendance ne persiste pas sur les jours étudiés (**Annexe 25**). Pour le rayonnement solaire (W/m^2), il n'y a que le jour de l'application que l'on obtient un coefficient de détermination très correcte avec $R^2=0,92$ où la courbe de tendance confirme l'hypothèse de base (**Figure 37**). Les autres jours aucune corrélation n'apparaît (**Annexe 23**). Concernant l'humidité relative, on constate qu'il y a une tendance non négligeable : lorsque l'humidité se trouve autour des 50% alors l'efficacité d'éclaircissage est plus importante. Cela se confirme trois et quatre heures après la deuxième application avec des coefficients de détermination $R^2>0,6$ (**Figure 38**) (**Annexe 26**). Cependant, avec le faible nombre de parcelles pris en compte dans cette corrélation on ne peut définitivement conclure que la métamitrone est bien plus efficace sur la variété Gala lorsque l'humidité relative avoisine les 50% plutôt les 80%.

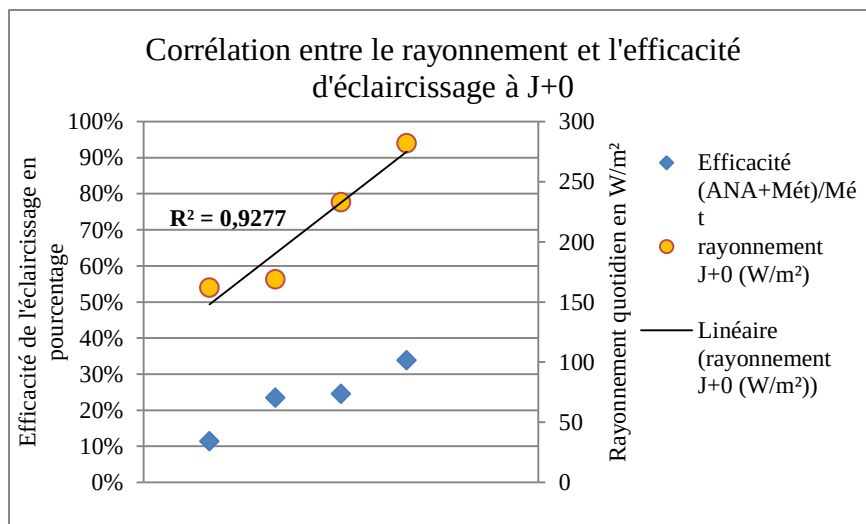


Figure 37: Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, Mé/Mét, et le cumul du rayonnement (W/m²) le jour de la seconde application de métamitrone – Producteurs de Gala

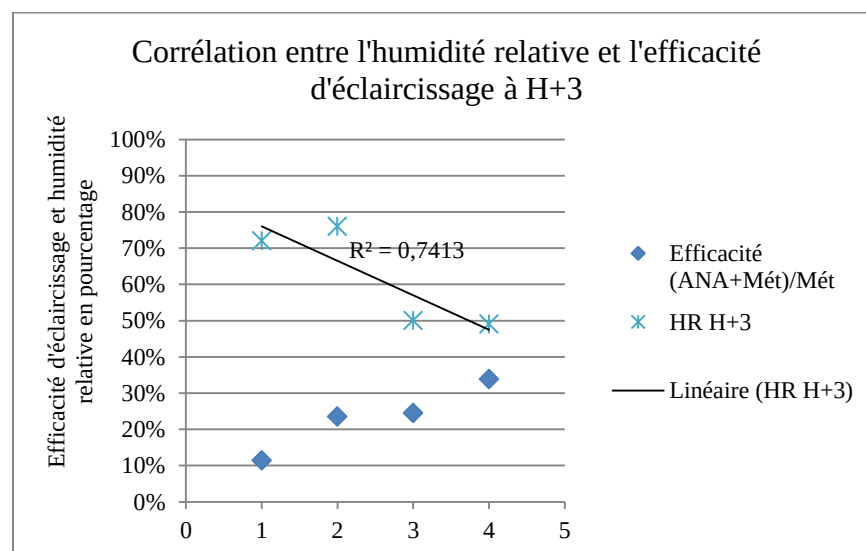


Figure 38: Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, Mét/Mét, et le cumul de l'humidité relative 3 heures après la seconde application de métamitrone – Producteurs de Gala

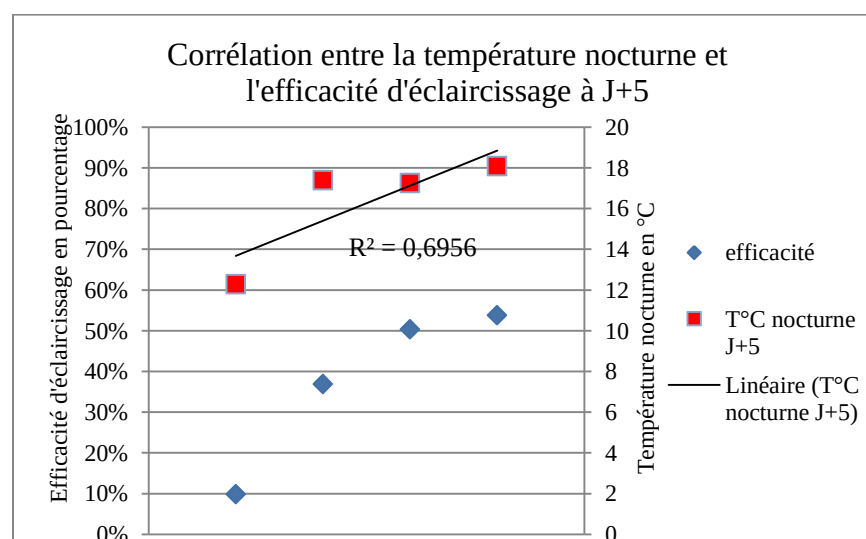


Figure 39 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, 6-BA/Mét, et la température nocturne (°C) cinq jours après l'application de métamitrone – Producteurs de Fuji

3. Quel impact des conditions météorologiques sur l'efficacité d'éclaircissage de la métamitronne dans les parcelles de quatre producteurs de Fuji

Analyse des conditions climatiques lors du traitement : 6-BA au stade 6-8mm suivie de Métamitronne à 330ppm au stade 8-10mm :

Aucune corrélation entre le rayonnement quotidien en W/m^2 et l'efficacité de la métamitronne sur la variété Fuji n'a pu être trouvée. Pas un coefficient de détermination ne dépasse la valeur de $R^2 > 0,3$ (**Annexe 27**). En cause le faible nombre de parcelles où l'on pouvait mesurer l'humidité relative. Ce paramètre ne peut pas être pris en compte pour la variété Fuji. Pour les températures nocturnes et quotidiennes on trouve dans les quatre jours suivant l'application de forts coefficients de détermination, $R^2 > 0,6$, avec des courbes de tendance montrant que l'efficacité d'éclaircissage est corrélée avec des températures basses (**Annexes 28 et 29**). Ce qui est contraire à l'hypothèse. Mais, pour ces deux paramètres, on retrouve le cinquième jour après application de métamitronne une courbe de tendance, avec un $R^2 > 0,6$, confirmant l'hypothèse de base (**Figure 39 & 40**).

D. Bilan sur les variétés : Ariane, Fuji et Gala

Ariane : D'après les essais réalisés au CEFEL sur 2013, 2014 et 2015, l'intérêt de la métamitronne seule n'est pas forcément évident. La double application de métamitronne à 330 PPM aux stades 6-8mm et 8-10mm avait un même nombre de fruits éclaircis que les autres modalités testées, en 2013, ainsi qu'un calibre moyen équivalent à celui du témoin non traité. En 2014, le nombre de fruits éclaircis et le poids moyen, pour cette même stratégie d'éclaircissage, sont équivalents à ceux trouvés pour la modalité (ANA+6-BA)/6-BA. Sur 2015, l'éclaircissage manuel a été moins intense pour la double application de métamitronne par rapport à (ANA+6-BA)/6-BA, mais les données sur le calibre à la récolte n'étant pas encore arrivées, on ne peut conclure quant à une meilleure efficacité. De plus pour cette année la charge globale des arbres était particulièrement faible, ce qui fausse l'appréciation des résultats. Par contre, lorsque la métamitronne est appliquée une seule fois au stade 8-10mm à 330 ppm, après un mélange (ANA+6-BA), les résultats sur les trois années sont bien plus convaincants. Sur 2013 et 2014, l'éclaircissage manuel a été le plus faible pour cette modalité en comparaison de toutes les autres et le calibre moyen des fruits a toujours été significativement plus élevé que les autres stratégies. Pour 2015, le nombre de fruits éclaircis manuellement a été là aussi particulièrement bas et le nombre fruits restant également (moins de cent/arbre).

L'application d'un mélange (ANA+6-BA) à 6-8mm suivi de métamitronne à 330 ppm au stade 8-10mm, est la stratégie qui présente les résultats sur trois ans d'éclaircissage les plus probants. La double application de métamitronne à 6-8 et 8-10mm, ainsi que l'application de métamitronne seule à 6-8 suivi de 6-BA à 8-10mm ne débouchent pas sur des éclaircissages plus efficaces que la stratégie (ANA+6-BA)/6-BA. Il semble que la métamitronne n'ait aucune influence sur la chute des jeunes fruits lorsqu'elle est appliquée au stade 6-8mm, sur la variété Ariane. Par contre, même lorsque la charge initiale est faible, cette molécule entraîne tout de même une chute importante, comme c'est le cas pour 2015. Pour des charges faibles c'est la stratégie (ANA+6-BA) à 6-8mm suivi de 6-BA à 8-10mm qui paraît être la plus adaptée.

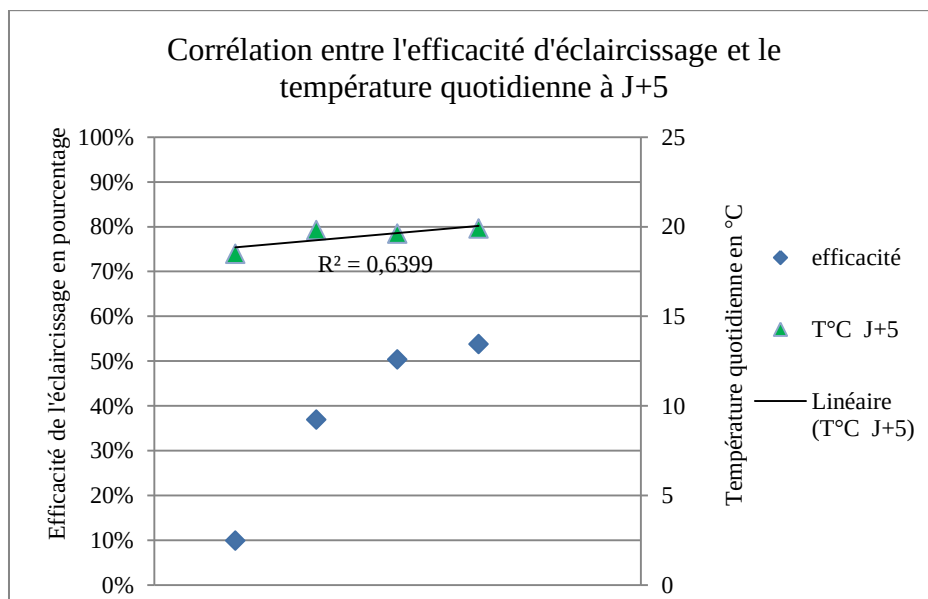


Figure 40 : Corrélation entre l'efficacité de la stratégie, 6-BA/Mét, et la température quotidienne (°C) cinq jours après l'application de métamitron – Producteurs de Fuji

Fuji : En prenant en compte la charge et le calibre à la récolte, les modalités utilisant de la métamitronne ont des résultats significativement supérieurs, sur les trois années d'essais menés au CEFEL, par rapport à ceux obtenus avec la stratégie d'éclaircissage 6-BA/6-BA. Par contre, entre la double application de métamitronne et le mélange (ANA+6-BA) suivi de métamitronne les écarts de charge et de calibre à la récolte sont plus ténus. On remarque que la première modalité a tendance à engendrer une chute des fruits trop forte par rapport aux objectifs. Tandis que la seconde semble déboucher sur un calibre moyen supérieur à la récolte par rapport à la double application de métamitronne.

L'application d'un mélange (ANA+6-BA) à 6-8mm suivi de métamitronne à 330 ppm à 8-10mm, semble être la stratégie avec les résultats, sur trois années d'éclaircissage, les plus probants. La double application de métamitronne sur Fuji ne paraît pas nécessaire, tant elle présente des risques de sur-éclaircissage, sans apporter un calibre supérieur à d'autres modalités. Mise à part chez un producteur, les modalités avec deux applications de métamitronne ont montré des efficacités d'éclaircissage équivalentes à celle avec une simple pulvérisation de cette molécule.

Au niveau des conditions météorologiques lors de l'application de la molécule, aucune certitude n'a pu être dégagée.

Gala : La double application de métamitronne à 330 ppm aux stades 6-8 et 8-10 est clairement trop puissante pour la variété Gala. En 2014 et 2015, cette modalité a toujours entraîné un sur-éclaircissage. Le choix du stade d'application, à la dose de 247,5 ppm sur cette année 2015, n'a pu être définitivement fait entre 9-10mm et 12-14 mm. Bien qu'il semble que le stade 9-10mm soit plus sensible que le second. Au niveau des essais sur micro-parcelles sur la dose optimale à l'hectare à appliquer, aucune différence significative n'apparaît entre les modalités testées lorsque l'on prend en compte le taux de fructification. Les données à la récolte permettront peut-être d'obtenir des données plus précises. Avec ce seul taux de fructification et avec le prix élevé à l'hectare du produit commercialisant la métamitronne, une application à 247,5 ppm au stade 8-10mm après un mélange (ANA+6-BA) à 6-8mm semble être la stratégie d'éclaircissage la plus adaptée pour Gala. Ce qui conforte le fait que la première modalité semble être la plus adaptée pour la variété Gala. Il reste une inconnue concernant la dose à appliquer comme tous les producteurs ont pulvérisé la métamitronne à 330 ppm et aucun à 247,5 ppm comme au CEFEL. On ne peut donc pas encore déterminer si cette dernière dose est suffisante pour obtenir un éclaircissage et une récolte satisfaisante.

V. Discussion générale

L'ensemble des travaux menés autour de la molécule inhibitrice de photosynthèse, la métamitronne, a permis de passer en revue un certain nombre d'hypothèses sur les paramètres susceptibles d'influencer son efficacité éclaircissante.

Les trois années d'expérimentations menées au CEFEL ont montré que la métamitronne n'agissait pas de manière équivalente sur les trois variétés testées. Gala est clairement celle qui se révèle la plus sensible face à ce nouvel éclaircissant. Ariane, au contraire, présente le plus de résistance. Mais l'éclaircissage engendré par la métamitronne a été très satisfaisant sur cette variété. La molécule inhibitrice de photosynthèse, pour Fuji, a subi l'alternance de la variété. Dans les années « plus », la baisse de la charge fructifère était très satisfaisante, alors qu'en année « moins » la métamitronne a eu tendance à sur-éclaircir les arbres. Cette dernière est aussi sujette à la production de fruits pygmées.

Mais l'essai mené sur cette variété, en 2015, n'a pu amener de réponse à cette question, car aucun fruit pygmée n'a été détecté dans les modalités testées, comprenant ou non de la métamitrone.

L'observation des conditions météorologiques ne permet pas de mettre en évidence un lien avec l'efficacité d'éclaircissage de la métamitrone. Les faibles coefficients de détermination trouvés lors des corrélations effectuées au CEFEL et chez les producteurs entre l'efficacité d'éclaircissage de la métamitrone et les conditions météorologiques sont sûrement dus au faible nombre de parcelles pris en compte. Pourtant des études montrent que la température nocturne, avant et après application de la métamitrone, influence l'efficacité de cette molécule. Selon Stern (2015), la température nocturne moyenne d'avril à mai, aux alentours de 13,5°C en Israël, et considérée comme chaude, amplifie l'efficacité d'éclaircissage de la métamitrone, par stimulation de la respiration (Jackson, 2003). Au contraire, d'après Kuster et Schweizer (2015), un printemps aux températures fraîches impacterait négativement l'efficacité d'éclaircissage. Selon eux ce phénomène s'expliquerait par une baisse de l'activité physiologique des arbres dans ces conditions. Il n'y aurait, dans ce cas, pas de déficit d'approvisionnement en assimilats vers les pousses et les fruits, causé par la métamitrone, ce qui ne favoriserait pas la chute de ces derniers. Les températures de nuit, entre avril et mai, sur le site du CEFEL à Montauban sont d'environ 11,5°C, celles sur 24 heures d'environ 15°C. Ces conditions ne sont ni chaudes ni froides. Le fait d'être dans un environnement aux températures printanières douces peut expliquer l'absence de corrélations entre l'efficacité d'éclaircissage de la métamitrone et la température.

Le rayonnement solaire est le seul paramètre climatique où l'on peut observer une faible corrélation avec l'efficacité d'éclaircissage de la métamitrone. Celle-ci n'apparaît que lorsque ce produit est appliqué au stade 8-10 mm, après pulvérisation d'une matière active, métamitrone ou mélange (ANA+6-BA) à 6-10 mm. Aucune corrélation n'est constatée après une première application de métamitrone à 6-10 mm. Finalement, la sensibilité au rayonnement solaire ne commencerait-elle pas à partir d'une certaine quantité de matière active présente dans l'arbre, plutôt qu'à un stade précis d'application ? Cette hypothèse mérite d'être confirmée en prolongeant les observations du rayonnement solaire lors des prochains traitements d'éclaircissage avec de la métamitrone.

La plage de la durée des observations des conditions météorologiques a été établie selon l'étude menée par McArtney et Obermiller (2012) sur la baisse de l'activité photosynthétique engendrée par la métamitrone. D'après eux la période perturbée s'étalait sur cinq jours. Cependant, Stern (2015) montre que cette période s'étend sur trois semaines après l'application du produit, dans des conditions où les températures nocturnes sont considérées comme chaudes. Il serait intéressant pour les prochaines saisons d'éclaircissage d'élargir la période de relevés de la température afin de constater si une corrélation sur une durée plus longue ne peut être faite entre ce paramètre et l'efficacité d'éclaircissage de la matière active.

Afin de compléter les observations sur l'action de la métamitrone sur la chute des pommes, il faudrait varier les zones de pulvérisation du produit sur les arbres. Pour cette année 2015, les traitements effectués avec un atomiseur sur grande parcelle, producteurs et CEFEL, ont été réalisés sur l'ensemble du feuillage des pommiers. Or, on relève une différence de charge entre le bas de l'arbre, faiblement à très faiblement pourvu en fruits, et le haut de l'arbre, bien plus chargé. Pour les années à venir, il faudrait concentrer la zone de pulvérisation du produit sur le haut des pommiers afin de vérifier si l'on arrive à mieux répartir les fruits sur l'ensemble de l'arbre, tout en ayant un éclaircissage efficace.

Bien que cette substance soit utilisée comme herbicide dans certaines cultures, il n'y a pas eu de dégâts irréversibles, liés à la phytotoxicité du produit, sur les feuilles et fruits des trois variétés testées au CEFEL, comme l'ont également constaté Widmer *et al.* (2013). Ces observations confortent, qu'à la dose prescrite, la métamitron est une substance ne présentant pas de danger particulier pour les pommiers, tout en restant efficace sur l'éclaircissage.

Conclusion

L'éclaircissage chimique avec la métamitron, présentant des résultats probants, ne doit pas faire oublier tous les travaux de recherches réalisés autour de l'éclaircissage mécanique. En effet, l'Eclairval, encore au stade expérimental, permettrait d'ajuster la charge en fruits au stade tardif dans les cas où l'éclaircissant, la métamitron, n'aurait pas abaissé suffisamment le nombre de fruits par arbre. Cette machine permettrait aux producteurs de réduire d'autant plus le temps de travail passé à l'éclaircissage manuel.

Bibliographie

- Abbaspoor, M., H.B. Teicher, and J.C. Streibig. (2006). The effect of root-absorbed PSII inhibitors on Kautsky curve parameters in sugar beet. *Weed Res.* 46:226–235.
- Abruzzese, A., H. Mignani, and S.M. Cocucci. (1995). Nutritional status in apples and June drop. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120:71–74
- Bangerth, F.K., (2000). Abscission and thinning of young fruit and their regulation by plant hormones and bioregulators. *Plant Growth Regulation*, 31(1-2), pp. 43-59
- Bangerth, F.K., (2003). Hormonal factors involved in the regulation of fruit growth, development and quality. *Proceedings of the Eufrin Workshop on Fruit Quality*, Bologna (Italy), 2003.
- Bangerth, F.K., (2004). Internal Regulation of Fruit Growth and Abscission. *Acta Horticulturae* 636: Key Processes in the Growth and Cropping of Deciduous Fruit and Nut Trees, pp. 235-248.
- Basak, A. (2011). Efficiency of fruitlet thinning in apple 'Gala Must' by use of metamitron and artificial shading. *J. Fruit and Ornamental Plant Research.* 19:51–62.
- Bepete, M. and A.N. Lakso, (1998). Differential effects of shade on early season and shoot growth rates in 'Empire' apple branches. *Hort-Science* 33 :823-825
- Bertschinger, L., Stadler, W., Stadler, P., Weibel, F., Schumacher, R. (1996). New methods of environmentally safe regulation of flower and fruit set and of alternate bearing of the apple crop. In II Workshop on Pome Fruit 466, pp. 65-70.

- Black, B. L., Petracek, P. D., Bukovac, M. J. (1995). The effect of temperature on uptake of NAA by 'Red chief Delicious' apple leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(3), pp. 441-445.
- Botton, A., G. Eccher, C. Forcato, A. Ferrarini, M. Begheldo, M. Zermiani, S. Moscatello, A. Battistelli, R. Velasco, B. Ruperti, and A. Ramina. 2011. Signaling pathways mediating the induction of apple fruitlet abscission. *Plant Physiol.* 155:185–208.
- Bound S.A., 1993. Modelling the effect of timing and rates of application of benzyladénine as a secondary thinner of 'Fuji' apple after ethephon. *Journal of Horticultural Science*, 68 (6) : 967-973.
- Bouniol, M., Lavoisier, C., Mathieu, V., Roche, L., Saint-Hilary J.F. (2012). Elements d'informations et synthèse des résultats d'expérimentation. In Site d'Agropomme. [En ligne].http://www.agropomme.ca/Documentation_publicue/FORMATION/FORMATION_2013/Eclaircissage_colloque2012.pdf (Page consultée le 29/06/2015).
- Brault, A. M., de Oliveira, D. (1995). Seed Number and an Asymmetry Index of 'McIntosh' Apples. *HortScience*, 30(1), pp. 44-46.
- Buban, T. (2000). The use of benzyladenine in orchard fruit growing: a mini review. *Plant Growth Regulation*, 32(2-3), pp. 381-390.
- Bukovac, M. J., Sabbatini, P., Schwallier, P. G., Schroeder, M. (2008). Characterizing the interaction between NAA and BA on apple fruit abscission and development. *HortScience*, 43(6), pp. 1794-1801.
- Byers, R. E., C.G. Lyons, Jr., T.B. DelValle, J.A. Barden, and R.W. Young. (1984). Peach fruit abscission by shading and photosynthetic inhibition. *HortScience* 19:649–51.
- Byers, R. E., C.G. Lyons, Jr., K.S. Yoder, J.A. Barden, and R.W. Young. (1985). Peach and apple thinning by shading and photosynthetic inhibition. *J. Hort. Sci.* 60:465-472.
- Byers, E.R., Carbaugh D.H., Presley, C.N. and Wolf, T.K., (1991). The influence of low light on apple fruit abscission. *J. Hort. Sci.* 66 :7-17
- Byers, R.E. (2002). Influence of temperature and darkness on apple fruit abscission and chemical thinning. *J. Tree Fruit Prod.* 3:41-53.
- Clever, M. (2007). A comparison of different thinning products applied to the apple variety 'Elstar Elshof' in the lower Elbe region. *Erwerbs-Obstbau* 49:107–109.
- Cripps, J.E.L, (1981). Biannual patterns in apple tree growth and cropping as related to irrigation and thinning. *Journal of Horticultural Science*, 56 : 161-168.

- Dal Cin, V., Boschetti, A., Dorigoni, A. and Ramina, A., (2005). Ethylene biosynthesis and perception in apple fruitlet abscission (*Malus domestica* L. Borck). *J. Expt. Bot.* 56 :2995-3005.
- Deckers, T., H. Schoofs, and W. Verjans, (2010). Looking for solutions for chemical fruit thinning on apple. *Acta Hort.* 884:237–244.
- Dennis, F. G. (2000). The history of fruit thinning. *Plant growth regulation*, 31(1-2), pp. 1-16.
- Dorigoni, A. and P. Lexxer, (2007). Chemical thinning of apple with new compounds. *Erwerbs- Obstbau*. 49:93–96.
- Ebert A., Bangerth F., (1982). Possible hormonal modes of action of three apple thinning agents. *Scientia Horticulturae*, 16 : 343-356.
- Fleckinger, J. (1948). Les stades végétatifs des arbres fruitiers, en rapport avec les traitements. *Pomologie Française*, Supplément, pp. 81-93.
- Greene, D. W., Autio W.R., (1989). Evaluation of benzyladenines as a chemical thinner on 'McIntosh'. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 24(1), pp. 94-96.
- Greene, D. W., Autio W.R., (1990). Vegetative responses of apple trees following benzyladenine and growth regulator sprays. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115 (3) : 400-404.
- Greene, D.W., Autio W.R., Arf J.A., Mao Z.Y., 1992. Mode of action of benzyladenine when used as a chemical thinner on apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117 (5) : 775-779.
- Greene D.W., 1993. A review of use of Benzyladenine as a chemical thinner for apples. *Acta Horticulturae – Plant growth regulators*, 329 : 231-237.
- Greene, D.W. (2002). Chemicals, timing, and environmental factors involved in thinner efficacy on apple. *HortScience* 37:477-481.
- Groupe de travail Eclaircissage, 2009. L'éclaircissage du pommier – benzyladenine, un outil indispensable. *Infos Ctifl* 251 : 28-31.
- Jackson J.E., 2003. Biology of apples and pears. *Cambridge University Press*, UK, 448 p.
- Jonkers H., (1979). Biennial bearing in apple and pear : a literature survey. *Scientia Horticulturae*, 11 : 303-317.

- Kockerols, K., Widmer, A., Gölles, M., 2010. Behangsregulierung durch Beschattung bei Apfelbäumen : I. Ausdünnwirkung. *Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau*, 146, 8-11.
- Koen T.B. and Jones K.M., (1985). A model of ethephon thinning of 'Golden Delicious' apples. *Journal Horticultural of Science*, 60 (1) : 13-19.
- Kondo, S. and Takahashi, Y. (1987). Effects of high temperature in the nighttime and shading in the daytime on the early drop of apple fruit 'Starking Delicious'. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 56:142-150.
- Kondo, S., Asari, M. and Kumagai, M. (1987). Effects of weather conditions tree vigor and pruning on the early fruit drop of apple. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 55:415-421.
- Kuster T., Schweizer S., 2015. Eclaircissage des pommiers et des poiriers au métamitron. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, 47(4) : 266-269.
- Kviklys, D. and Robinson, T.L., (2010). Temperature before and after application of chemical thinners affects thinning response of 'Empire' apple trees. *Acta Hort.* (in press).
- Lafer, G. (2010). Effects of chemical thinning with metamitron on fruit set, yield and fruit quality of 'Elstar'. *Acta Hort.* 884:531–536.
- Lakso, A.N., J.N. Wünsche, J.W. Palmer, and L. Corelli-Grappadelli. (1999). Measurement and modeling of carbon balance of the apple tree. *HortScience* 34:1040–1047.
- Lakso A.N., Robinson T.L., Goffinet M.C., White M.D., (2001). Apple fruit growth responses to varying thinning methods and timing. *Acta Horticulturae*, 557: 407-411.
- Lakso, A. N., Robinson, T. L., Greene, D. W. (2007). Using an apple tree carbohydrate model to understand thinning responses to weather and chemical thinners. *NY Fruit Quarterly*, 15(3), pp. 17-20.
- McCartney, S. J. and Obermiller, J. D., 2012. Comparison of the Effects of Metamitron on Chlorophyll Fluorescence and Fruit Set in Apple and Peach. *HORTSCIENCE* 47(4):509–514.
- Mathieu, V. (2005). Stade d'application de l'éthéphon : éclaircissage du pommier. 2ème partie. *Infos-CTIFL*, 208, pp. 38-41.
- Mathieu, V., Lavoisier C., Ferré, G., (2011). L'éclaircissage du pommier. *Ed : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL)*, 2011. 308p.
- Mathieu V., Cayla M. (2012). Maîtrise de la charge du pommier - regard du côté de la pollinisation. *Infos-CTIFL*, 279, pp. 28-37

- Meier, U., Bleiholder, H., Weber, E., Feller, C., Hess, M., van den Boom, T., Stauss, R. (2001). Stades phénologiques des mono-et dicotylédones cultivées. BBCH Monographie. *Centre Fédéral de Recherches Biologiques pour l'Agriculture et les Forêts*, 2001. 166p.
- Monselise S.P., Goldschmidt E.E., (1982). Alternate bearing in fruit trees. *Horticultural Reviews*, 4 : 128-173.
- Proctor, J. T. A., Palmer, J. W. (1991). The role of spur and bourse leaves of three apple cultivars on fruit set and growth and calcium content. *HortScience*, 26(6), pp. 789-789.
- Quinlan, J. D., Preston, A. P. (1971). The influence of shoot competition on fruit retention and cropping of apple trees. *Journal of Horticultural Science*, 46(5), pp. 24-534.
- Robinson, T.L., Lakso, A.N. and Hoying, S.A., (2011). Advances in Predicting Chemical Thinner Response of Apple Using a MaluSim Carbon Balance Model. *Acta Hort.* (in press).
- Sanyal, D., Bangerth, F. (1998). Stress induced ethylene evolution and its possible relationship to auxin-transport, cytokinin levels, and flower bud induction in shoots of apple seedlings and bearing apple trees. *Plant growth regulation*, 24(2), pp. 127-134.
- Schumacher, R.; Frankhauser, F.; Stadler, W. (1978). Chemical thinning and natural fruit drop by modifying fruit set. *Schweizer Zeitschrift für Obst-und Weinbau* 114: 245-258.
- Schmidt, T., Elfving, D. C., McFerson, J. R., Whiting, M. D. (2009). Crop load overwhelms effects of gibberellic acid and ethephon on floral initiation in apple. *HortScience*, 44(7), pp. 1900-1906.
- Schneider G.W. and Lasheen A.M., (1973). NAA and Sevin on composition development and abscission of apple fruit. *HortScience*, 8 :103-104.
- Schwallier, P.G., (1996). Apple Thinning Guide. Great Lakes Publishing Company, Sparta, Mich.
- Schönherr J., Baur P., Uhlig B.A., (2000). Rates cuticular penetration of 1-naphtylacetic acid (NAA) as affected by adjuvants, temperature and water quality. *Plant Growth Regulation*, 31 : 61-74.
- Schupp, J. R., Baugher, T. A., Miller, S. S., Harsh, R. M., Lesser, K. M. (2008). Mechanical thinning of peach and apple trees reduces labor input and increases fruit size. *HortTechnology*, 18(4), pp. 660-670.
- Stern, R. A., (2015). The photosynthesis inhibitor metamitron is a highly effective thinner for 'Golden Delicious' apple in a warm climate. *Fruits* 70 : 127–134.

- Terence L. Robinson and Alan N. Lakso (2011). Predicting and Understanding Chemical Thinner Response in Real Time. Department of Horticultural Sciences, New-York State Agricultural Experiment Station, Cornell University, Geneva, NY 14456
-
- Unrath, C.R., (1981). An overview of ethephon's thinning potential for spur 'Delicious' apples. *Acta Hort.* 80:233-243.
- Vaysse P., Mathieu V., Reynier P., Roche L., Codarin S. , Lavialle O. , Keresztes B., Guizard C., Gobrecht A., Grenier G. , Bouniol M., St Hilary J.F., Lavoisier C., (2013). Éclaircissage mécanique du pommier assisté par analyse d'image, Technologie innovante pour une arboriculture productive et écologique. *Innovations Agronomiques* 30, 209-217
- Webster, A.D. (2002). Factors influencing the flowering, fruitset, fruitset and fruit growth of european pears. *Acta Hort.* 596 :699-709.
- Wertheim, S.J. (1973). Chemical control of flower and fruit abscission in apple and pear. *Acta Horticulturae*, 30 : 321-331.
- Wertheim, S. J. (2000). Developments in the chemical thinning of apple and pear. *Plant Growth Regulation*, 31(1-2), pp. 85-100.
- Widmer, A., Gölles, M., Kockerols, K., Stadler, W., Christen, D. (2008). Possibilités et stratégies d'éclaircissage du pommier à l'éthéphon. *Revue suisse de viticulture arboriculture horticulture*, 40 (2), pp. 87-93.
- Widmer, A., Gölles, M., Schweizers S., 2013. Neuer Wirkstoff für die Behangsregulierung? *Schweizer Zeitschrift für Obst und Weinbau*, 149, 8-11.
- Williams, M.W. (1979). Chemical thinning of apples. *Hort. Reviews* 1:270-300.
- Williams, K.M., (1998). Blossom thin for consistent crop. *Good Fruit Grower* 49(7) :9-10
- Williams, M.W. and Edgerton, L.J. (1981). Fruit thinning of apples and pears with chemicals. *Agric. Inform. Bull.* No. 289, US Depart. Agriculture 22 pp.
- Trillot, M., Masseron, A., Mathieu, V., Bergougnoux, F., Hutin, C., Lespinasse, Y. (2002). Le pommier. *CTIFL, Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes*, 1995. 292 pp.
- Untiedt, R., Blanke, M. (2001). Effects of fruit thinning agents on apple tree canopy photosynthesis and dark respiration. *Plant growth regulation*, 35(1), pp. 1-9.
- Yuan, R., Greene, D. W. (2000). Benzyladenine as A Chemical Thinner for 'McIntosh' Apples. II. Effects of Benzyladenine, Bourse Shoot Tip Removal, and Leaf Number on Fruit Retention. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125(2), pp. 177-182.

- Yuan, R. (2007). Effect of temperature on fruit thinning with ethephon in ‘Golden Delicious’ apples. *Scientia Horticulturae*, 113 : 8-12.

Annexes

Annexe I : Echelle de notation de la phytotoxicité de la métamitronne sur pommier



Compte rendu d'essai BPE

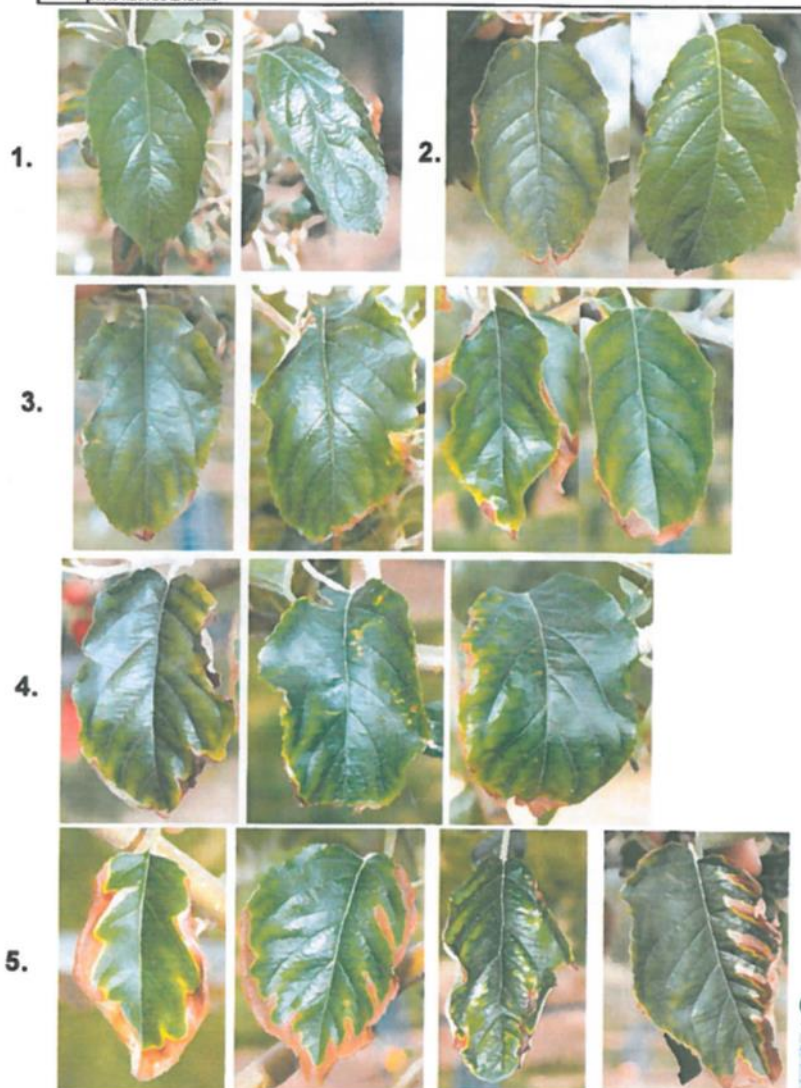
Essai d'évaluation d'un produit à base de métamitronne –
Eclaircissage du pommier - 2010

Révision 6
2 janvier 08

Page
30/31

9.3 - Echelle de notation de la phytotoxicité (Elaboration Ctifl)

1	Aucun symptôme
2	Légère décoloration jaune entre les nervures
3	Décoloration jaune entre les nervures, début de nécroses sur le bord et la pointe du limbe
4	Forte décoloration jaune entre les nervures et début de nécroses sur le bord du limbe (1-2 mm) à partir de la pointe
5	Forte décoloration jaune entre les nervures et poursuite des nécroses sur le bord du limbe qui s'élargissent (4-5 mm) et remontent sur le haut de la feuille



Compte rendu d'essai BPE Essai d'évaluation d'un produit à base de métamitron – Eclaircissage du pommier - 2010	Révision 6 2 janvier 08	Page 31/31
---	--	---

6	Réduction de la surface foliaire par la nécrose qui poursuit son extension à l'intérieur et sur le haut du limbe. Ce stade est très caractéristique
7	Réduction de la surface foliaire par la nécrose qui poursuit son extension à l'intérieur et sur le haut du limbe, la feuille commence à se recroqueviller (forme en tôle)
8	Seule une zone de 1 cm de large reste verte autour de la nervure principale (on ne sait pas encore si ces feuilles vont chuter)
9	Feuille complètement nécrosée et recroquevillée, parfois une zone verte étroite peut persister autour de la nervure centrale et proche du pédoncule. Ces feuilles chutent

6.



7.



8.



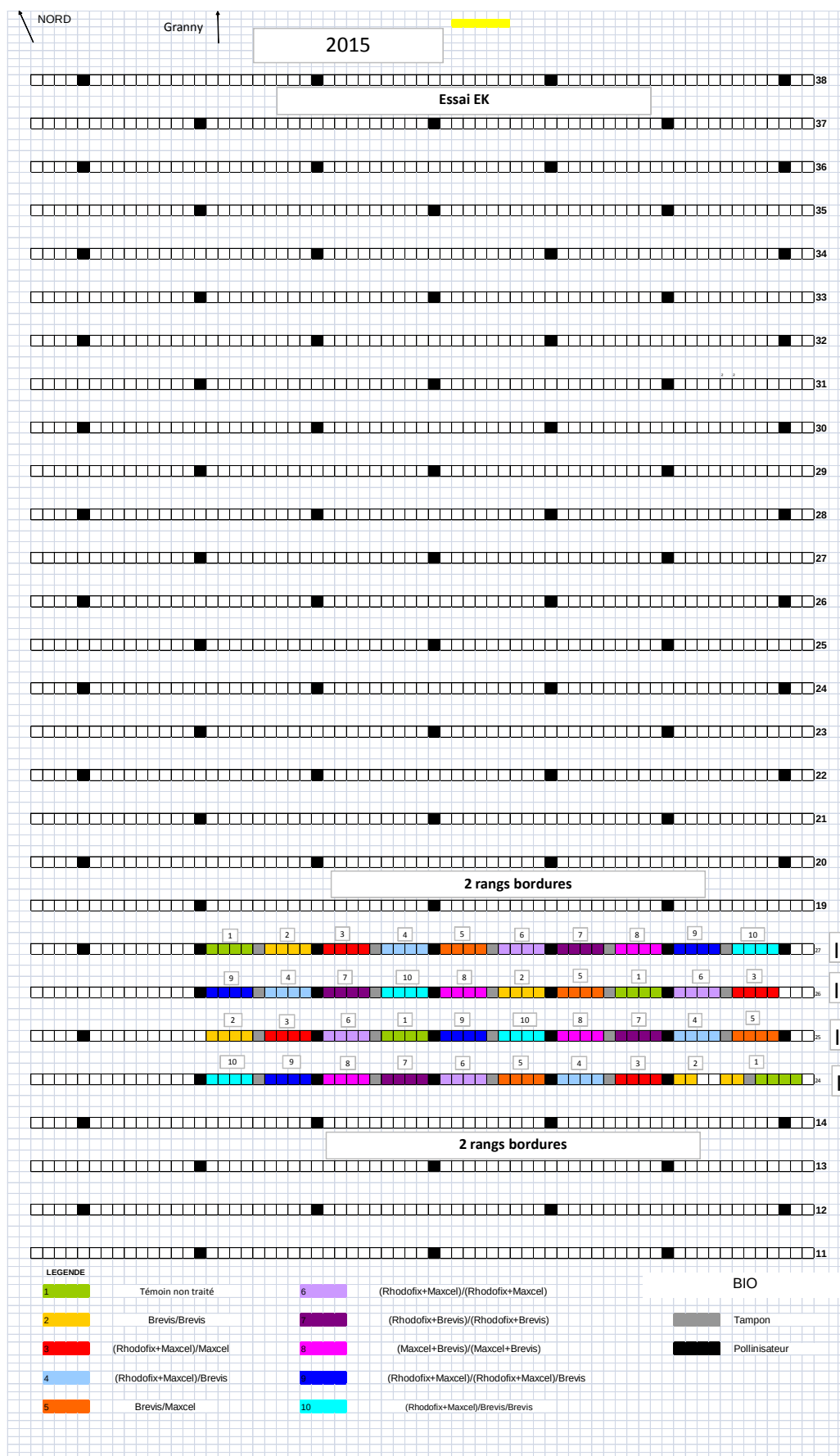
9.



PARCELLE P 11 - FUJI - 1ere Feuille 2007 - Distances de plantation : 4 x 1,2 m

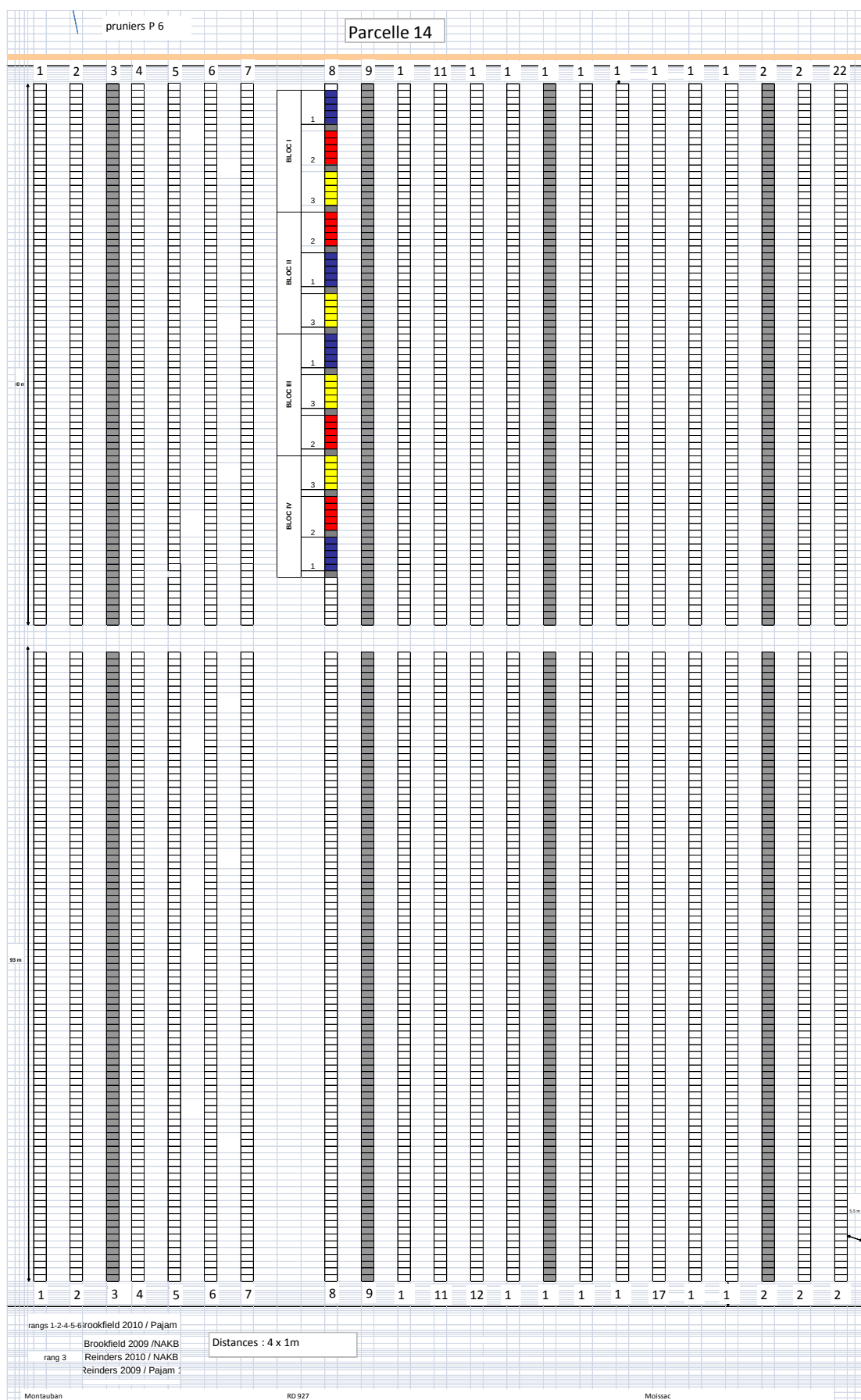


Annexe III : Plan de la parcelle d'expérimentation sur l'essai post-floraison 2 effectué sur la variété Ariane



[illegible]

Annexe V : Plan de la parcelle d'expérimentation sur l'essai stade d'application effectué sur la variété Gala



Annexe VI : ANOVA sur le nombre de fruits récoltés sur Ariane en 2013 au CEFEL

Statbox 7.2 - Analyse de variance - 20/08/2015 à 08:20:53

Variable : nbf/a rec

Estimation 1 : Parcelle 101, Traitement : (ANA+6-BA)/6-BA, valeur estimée = 269,568518518518

Histogramme des résidus :

9		403		
8		303		
7		203		
6		101		
5		201		
4		103	302	
3		104	204	
2	301	401	304	
1	404	202	102	402

Effectifs

	2	9	4	1
Bornes				
	-60,63	-28,67	3,29	35,26
	à	à	à	à
	-28,67	3,29	35,26	67,22

Minimum : - 60,634 Maximum : 67,220 Intervalle : 31,964

Indices de normalité (coefficients de K.PEARSON) :

Symétrie (valeur idéale théorique = 0) : Beta 1 = 0,009 Prob. : 0,870

Aplatissement (valeur idéale théorique = 3) : Beta 2 = 3,480 Prob. : 0,660

Résidus suspects (méthode de GRUBBS) :

Aucun résidu suspect

Ecart type des résidus :

Ecart-types facteur 1 = Modalités

	E.T.
1 (Témoin)	21,199
2 (Mét/Mét)	42,785
3 ((ANA+6-BA)/Mét)	47,694
4 ((ANA+6-BA)/6-BA)	1,634

 $khi^2 = 15,333$ Prob. = 0,00171

Ecart-types blocs = Bloc

	E.T.
1 (B1)	11,161
2 (B2)	25,424
3 (B3)	32,058
4 (B4)	52,524

 $khi^2 = 5,266$ Prob. = 0,1515**Test de Tukey :**

SCE test de TUKEY = 1918,499 Prob. = 0,322

Test non significatif

Analyse de variance :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA
Var.TOTALE	26575,729	14	1898,266		
Var.FACTEUR 1	10014,974	3	3338,325	1,953	0,199
Var.BLOCS	2888,572	3	962,857	0,563	0,657
VAR.RESIDUELLE 1	13672,183	8	1709,023		

Indicateurs :

	Valeur
Moyenne générale	310,603
Ecart type résiduel	41,340
Coef. variation %	13,310

Moyennes :

Moyennes facteur 1 = Modalités

	Moyenne
1 (Témoin)	324,750
2 (Mét/Mét)	344,438
3 ((ANA+6-BA)/Mét)	288,583
4 ((ANA+6-BA)/6-BA)	284,642

Moyennes blocs = Bloc

	Moyenne
1 (b1)	295,530
2 (b2)	329,950
3 (b3)	315,933
4 (b4)	301,000

Puissance de l'essai :

Puissance facteur 1 : Modalités

		Risque de 1ère espèce (%)		
Ecart	Ecart	5	10	20
En %	V.Absolue	Puissance a priori (%)		
5	15,530	6	12	23
10	31,060	10	18	31
		Puissance à posteriori (%)		
Moyennes observées		33	58	73

Comparaisons de moyennes**Test de Newman-Keuls au seuil 5% :**

Test de Newman-keuls non significatif

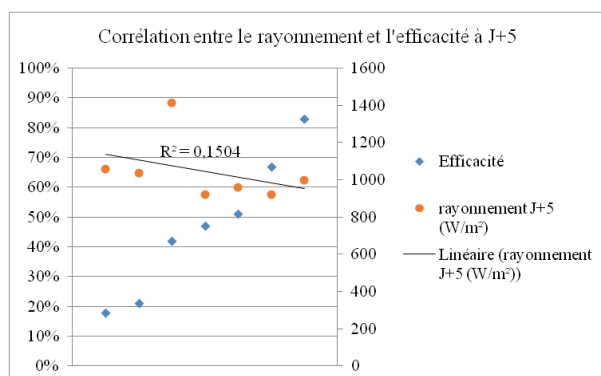
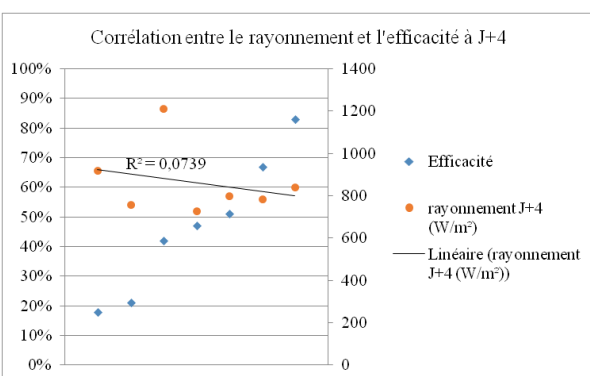
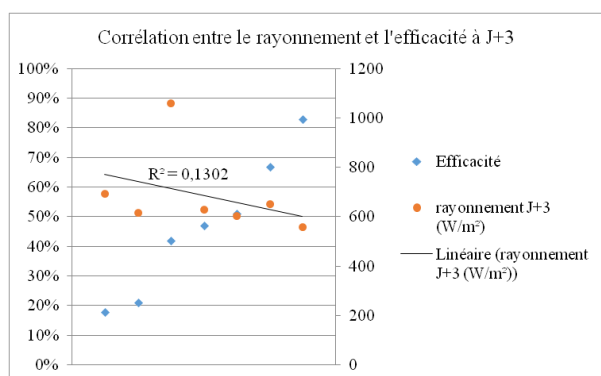
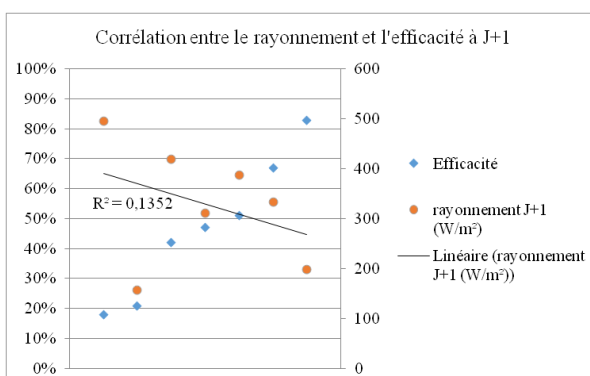
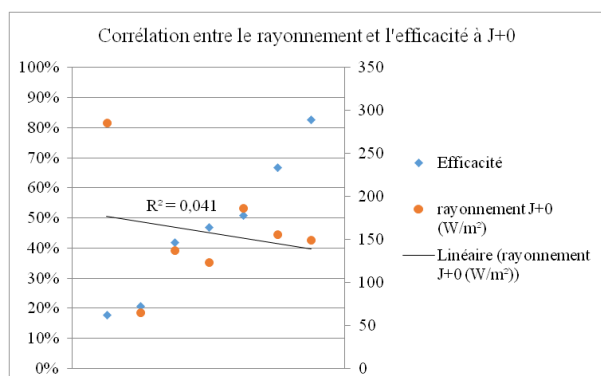
Test simultané de Bonferroni au niveau 5% :

Test de Bonferroni non significatif

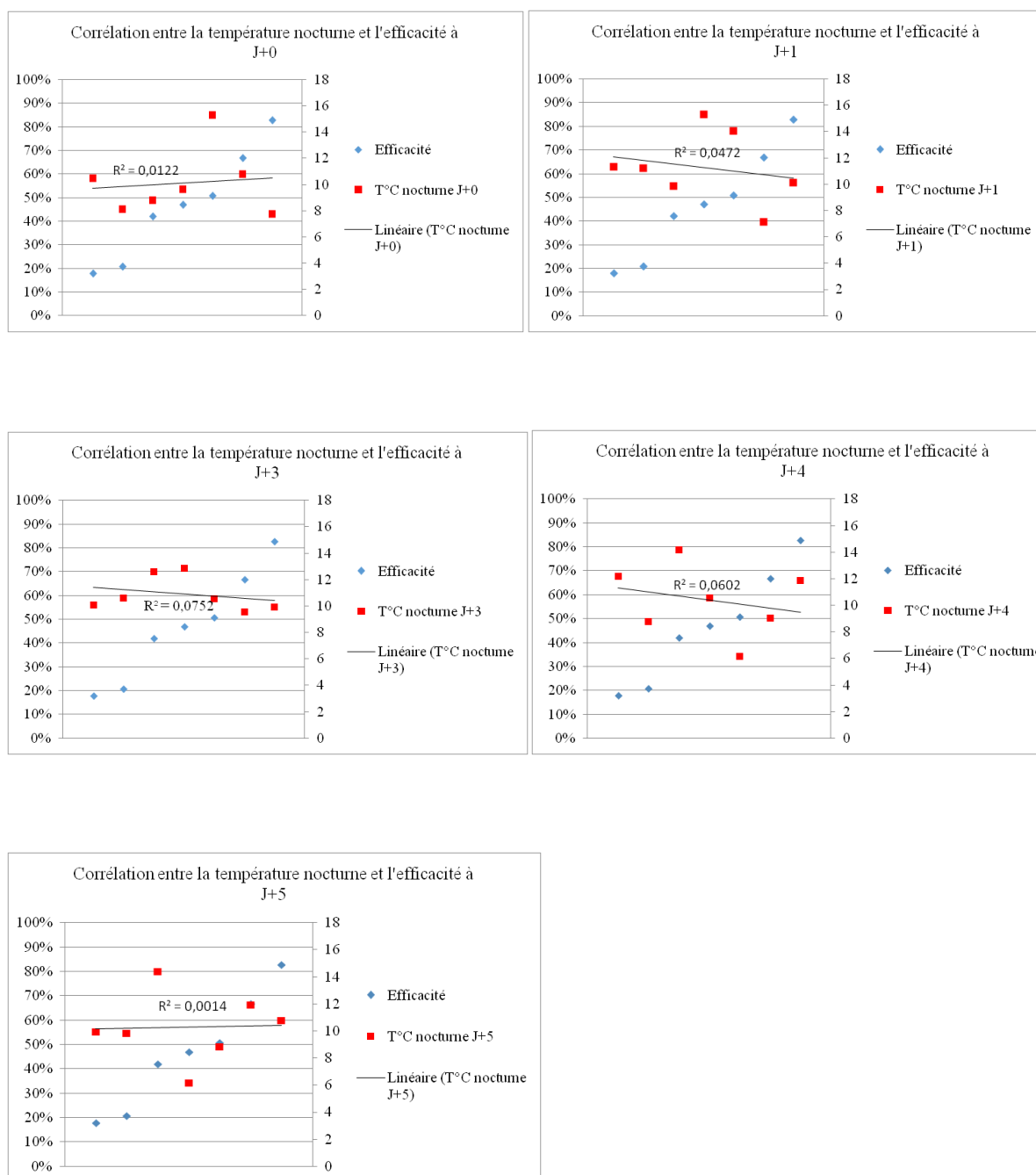
Données pour des regroupements d'essais :

Modalités	Moyenne	Residuelle	DDL	Nb Blocs
1 (Témoin)	324,750	1709,023	8	4
2 (Mét/Mét)	344,438			
3 ((ANA+6-BA)/Mét)	288,583			
4 ((ANA+6-BA)/6-BA)	284,642			

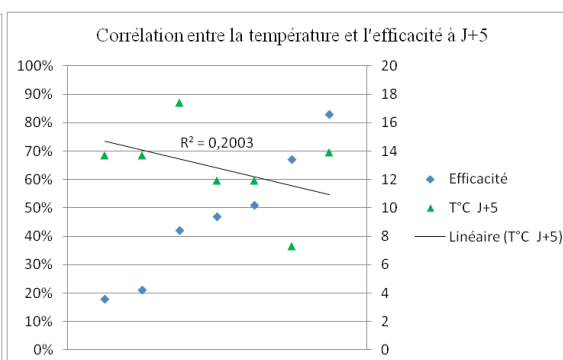
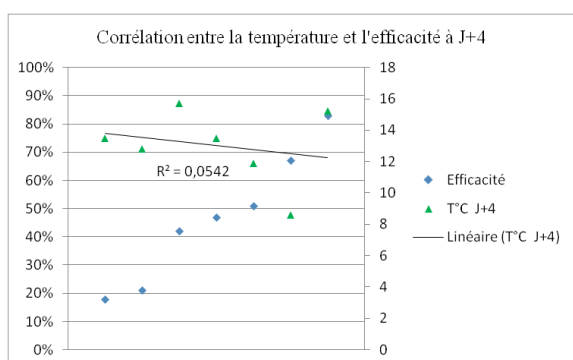
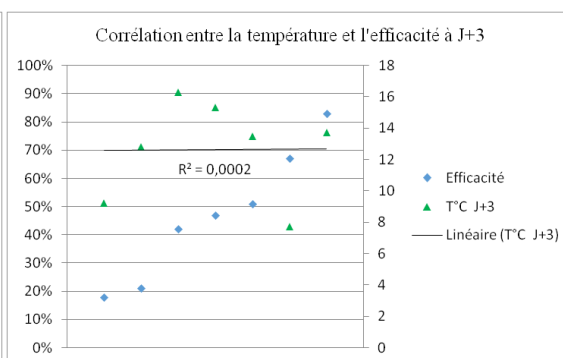
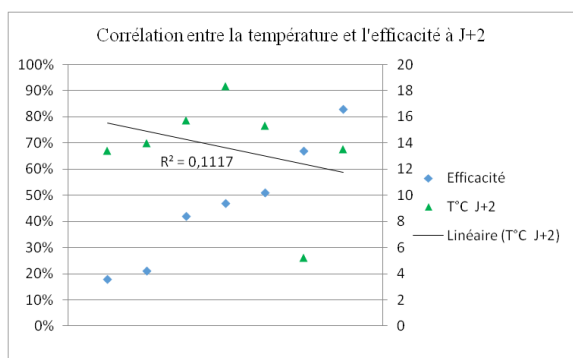
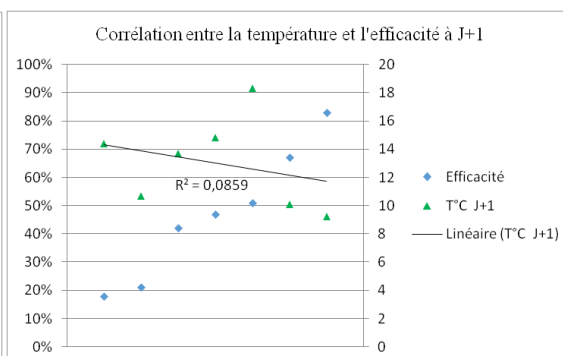
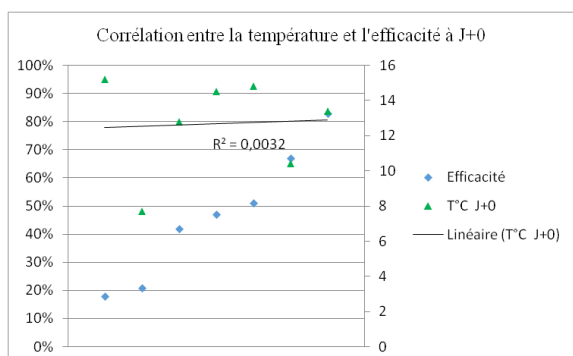
Annexe VII : Rayonnement solaire cumulé sur cinq jours après la première application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL



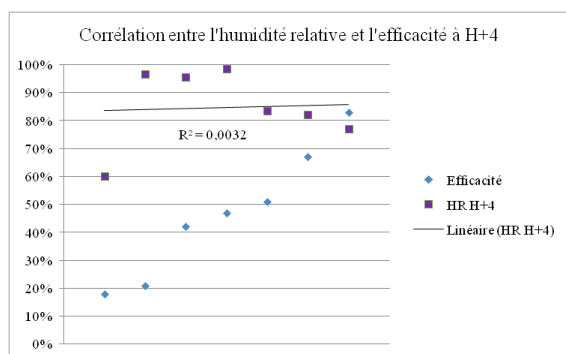
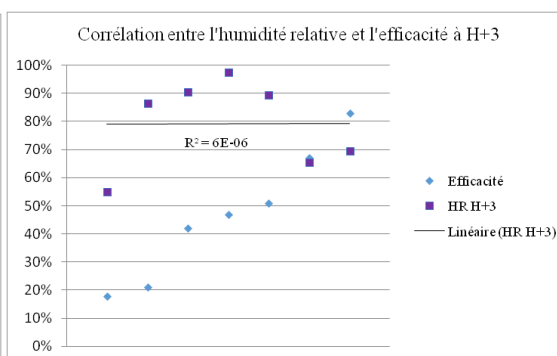
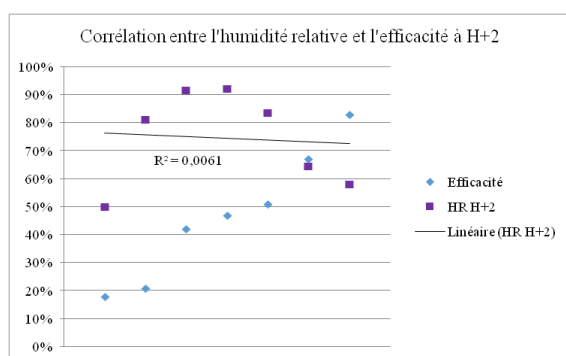
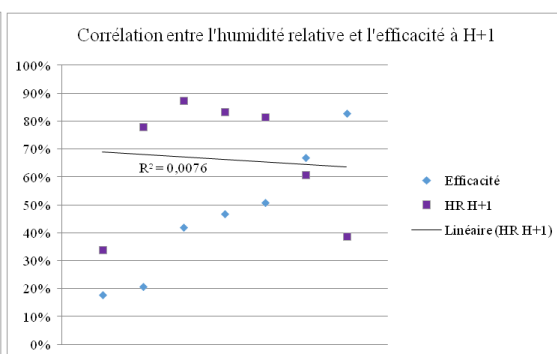
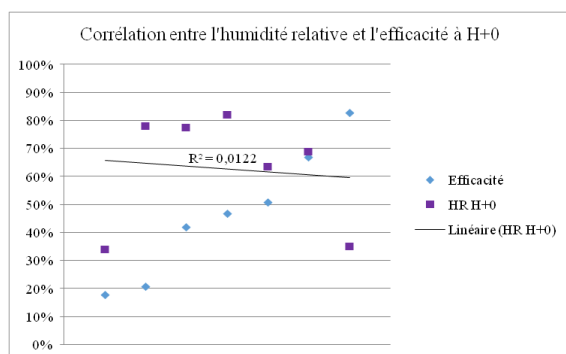
Annexe VIII : Température nocturne dans les 5 jours suivant la première application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL



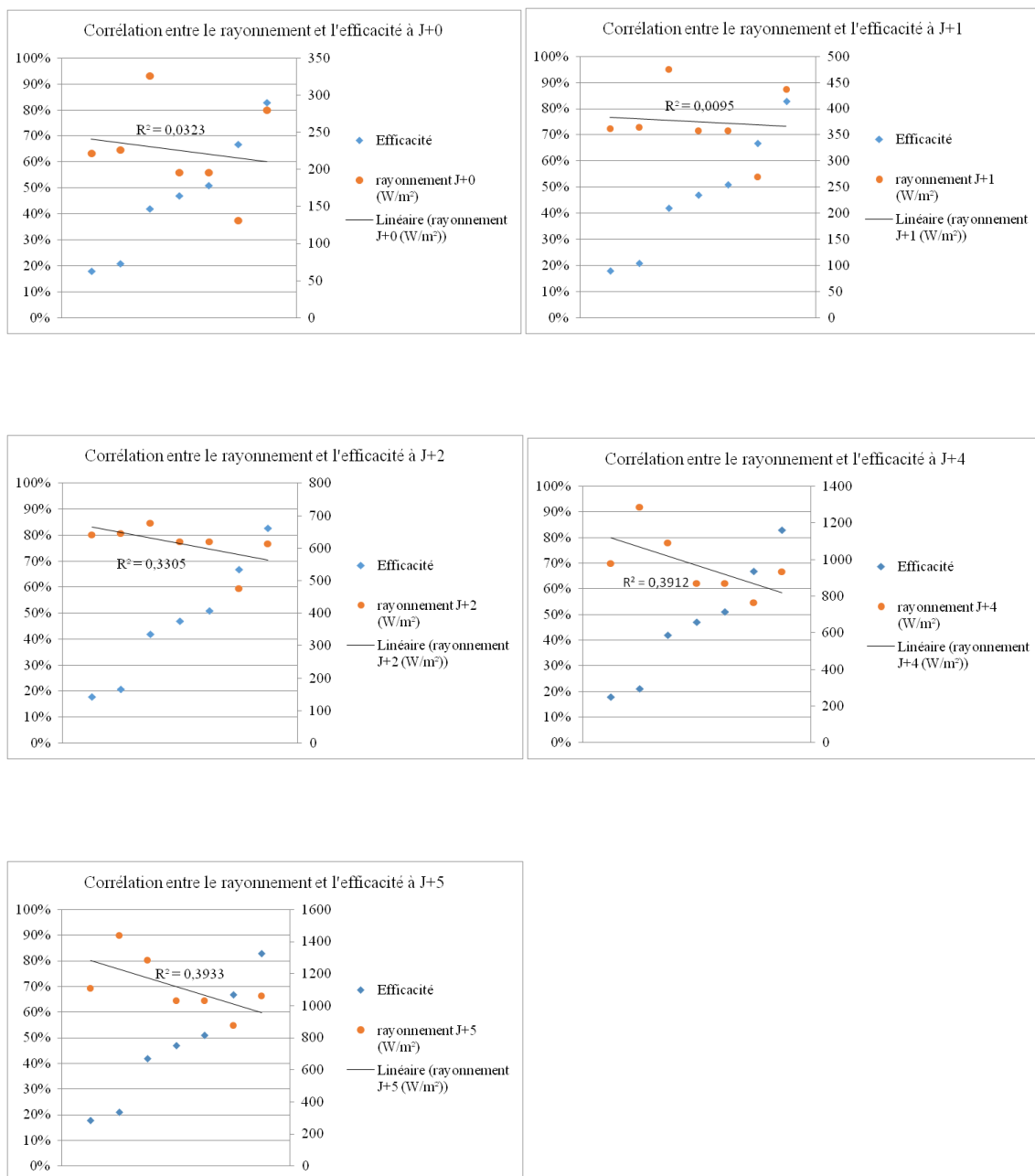
Annexe IX : Température sur 24 heures dans les 5 jours suivant la première application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL



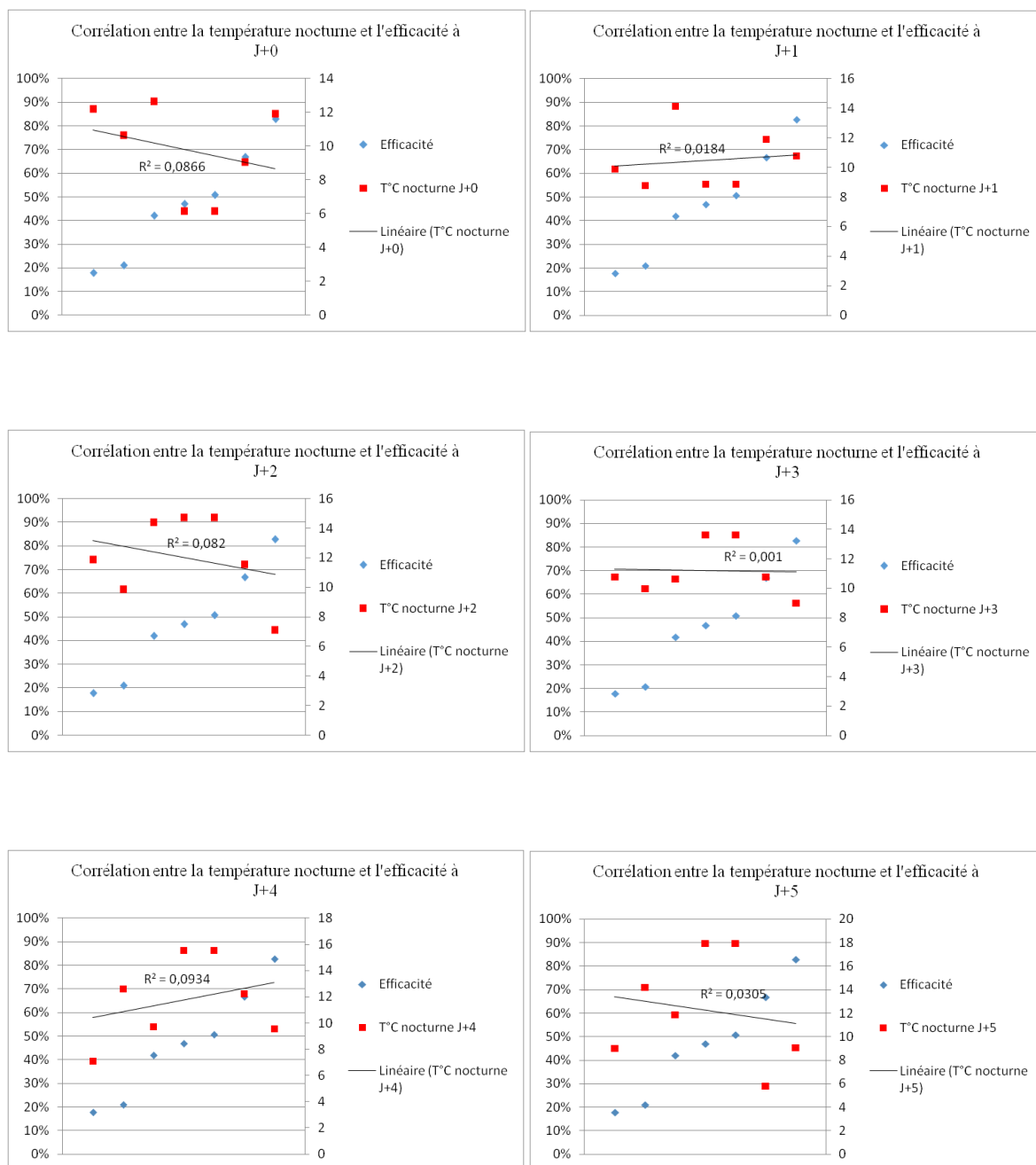
Annexe X : Humidité relative sur 4 heures après la première application : Métamitron à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL



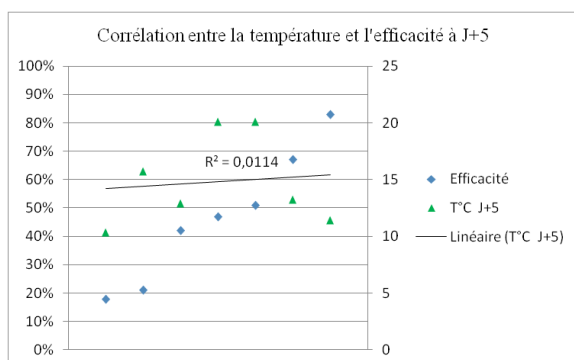
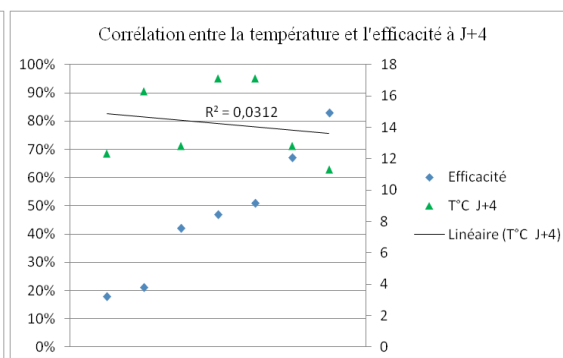
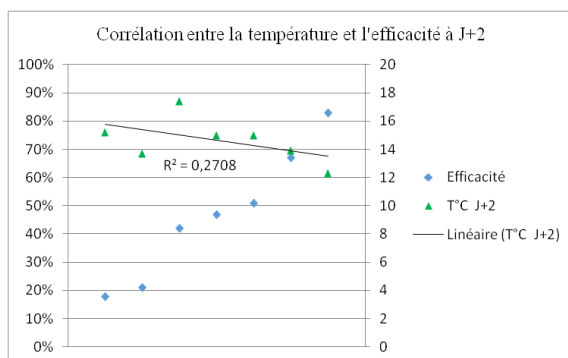
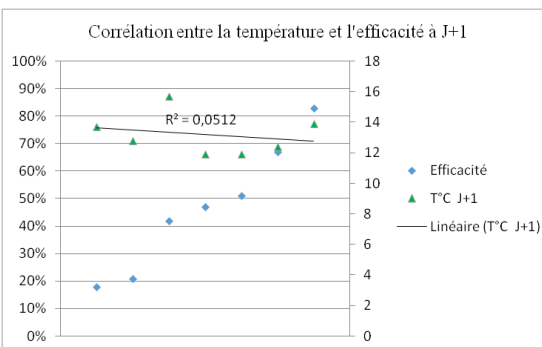
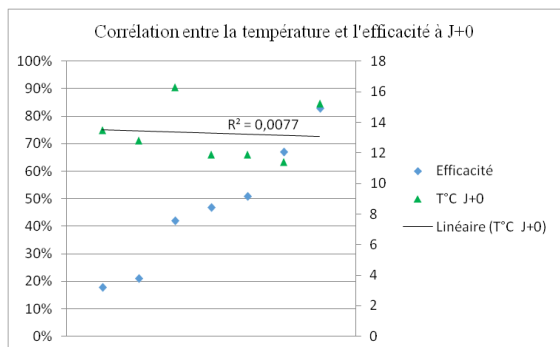
Annexe XI : Rayonnement solaire (W/m^2) cumulé dans les 5 jours suivant la seconde application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL



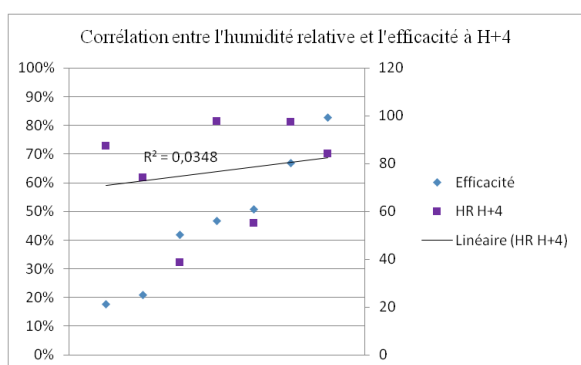
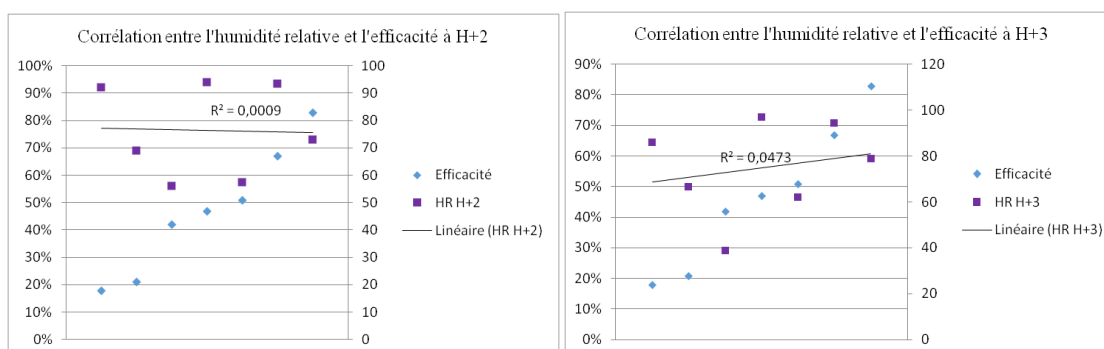
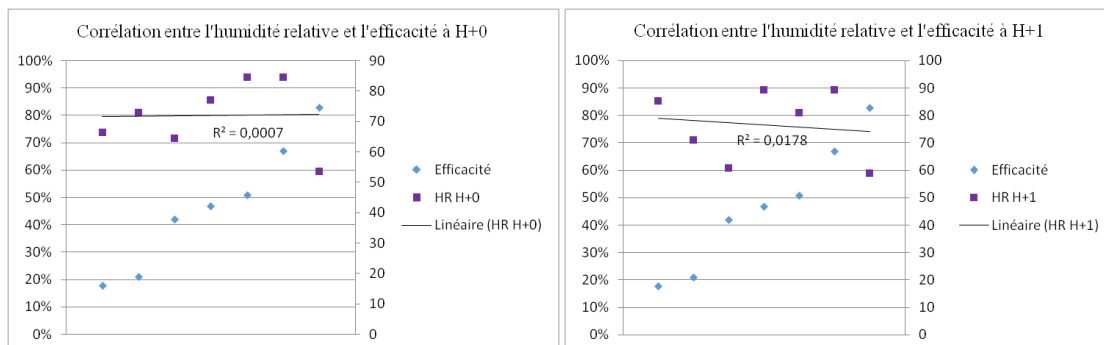
Annexe XII : Température nocturne dans les 5 jours suivant la seconde application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL



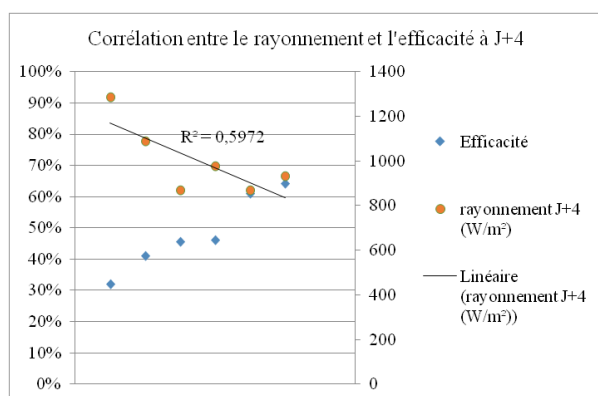
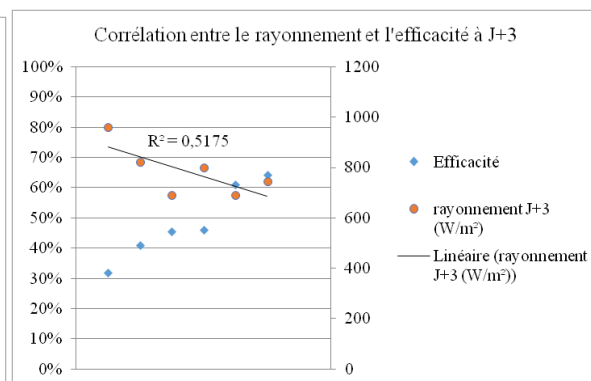
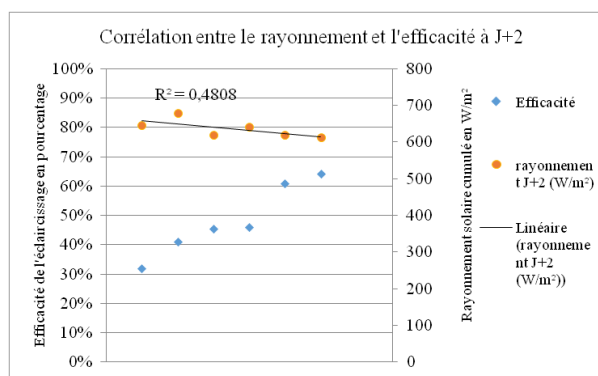
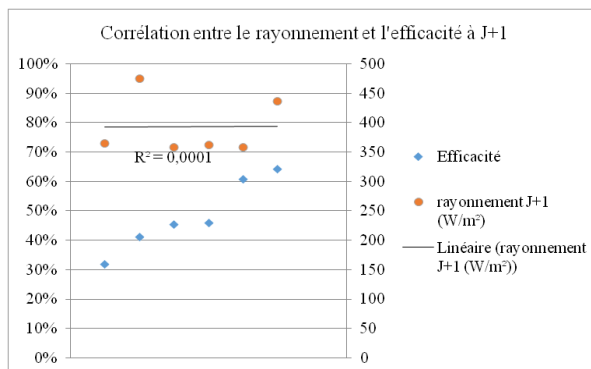
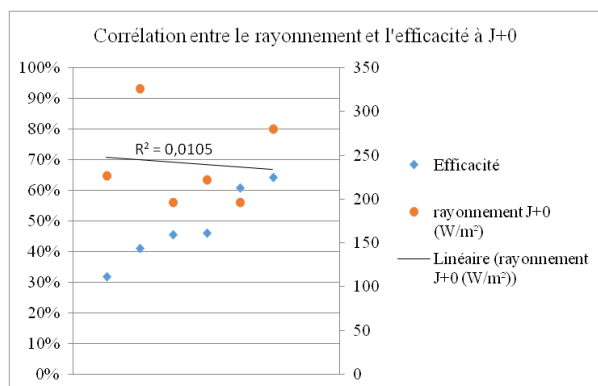
Annexe XIII : Température sur 24 heures dans les 5 jours suivant la seconde application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL



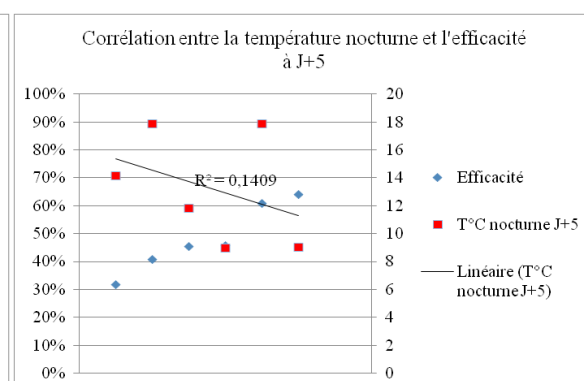
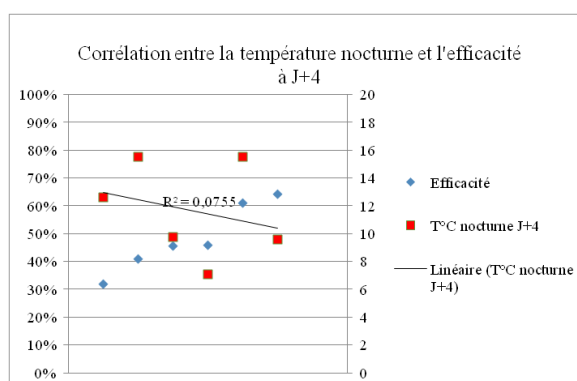
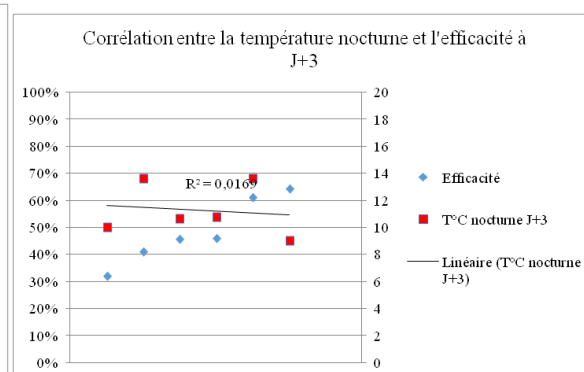
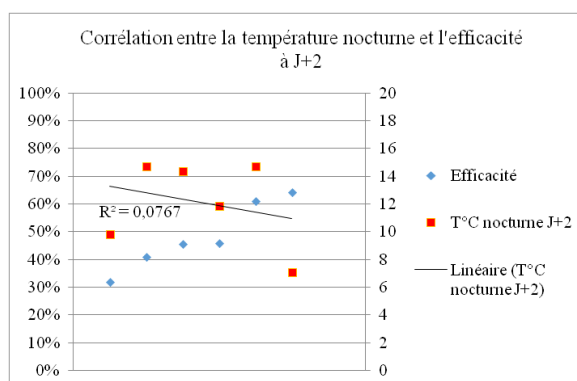
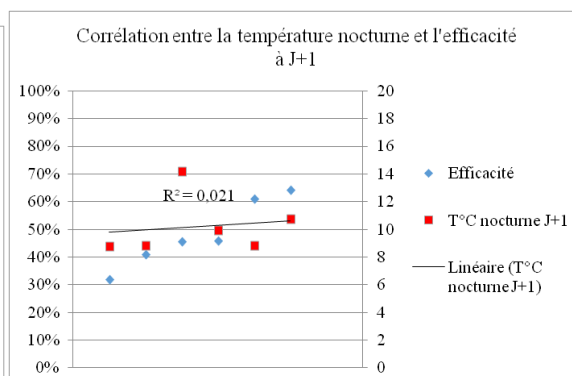
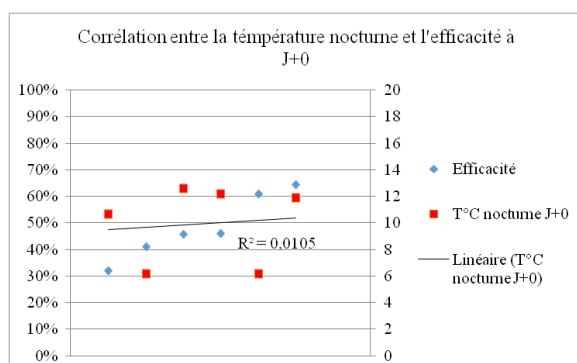
Annexe XIV : Humidité relative sur 4 heures après la seconde application : Métamitron à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm à 8-10mm. CEFEL



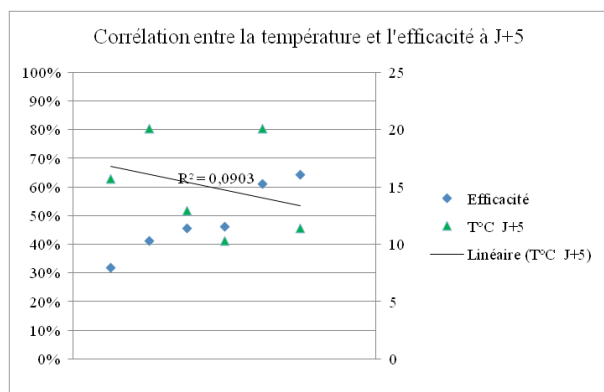
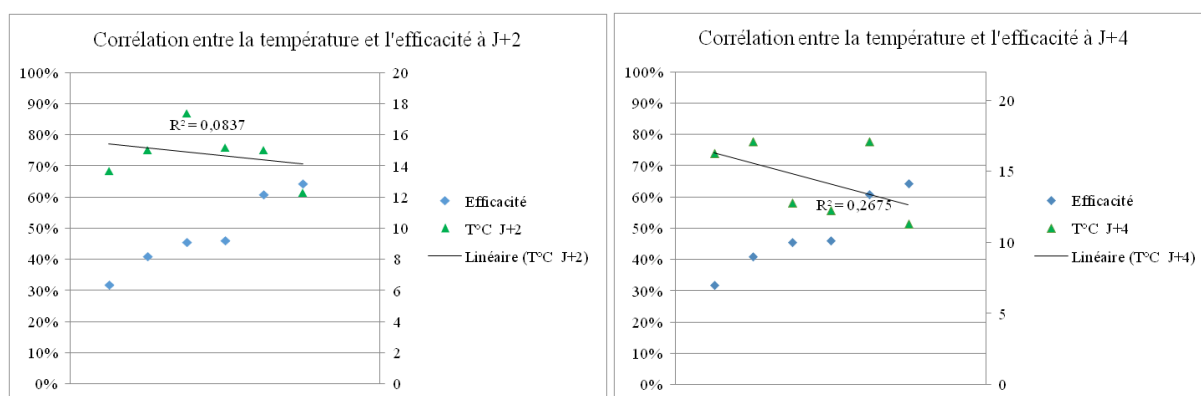
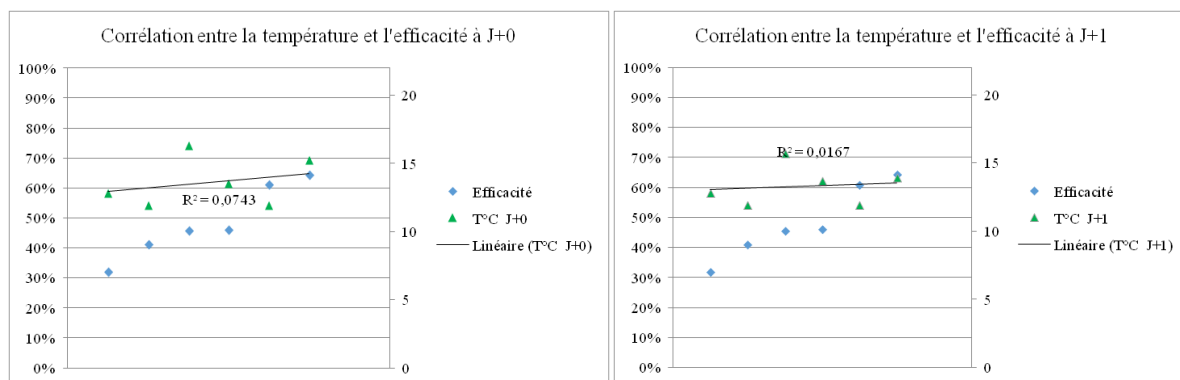
Annexe XV : Rayonnement solaire (W/m^2) cumulé dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm au stade 8-10mm. CEFEL



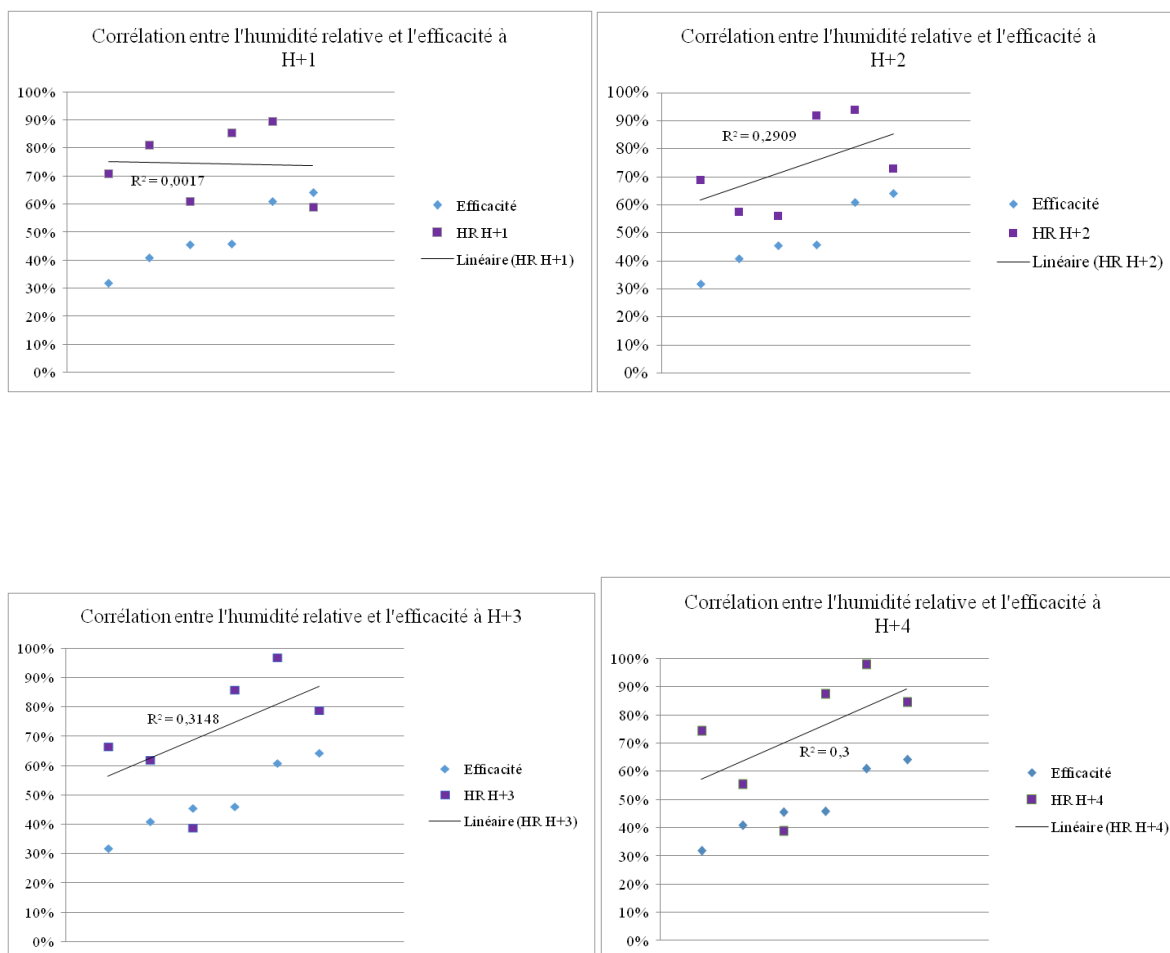
Annexe XVI : Température nocturne dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm au stade 8-10mm. CEFEL



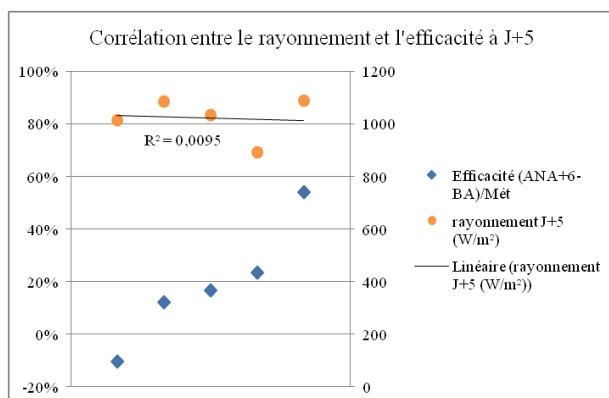
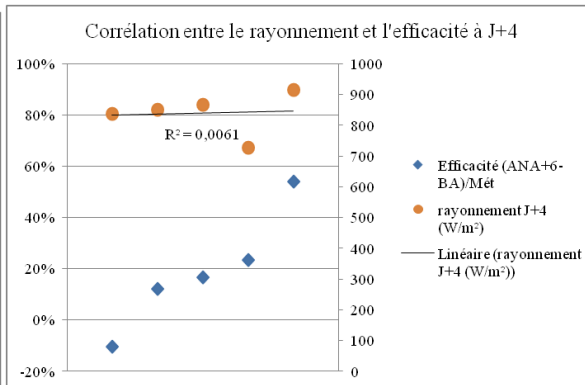
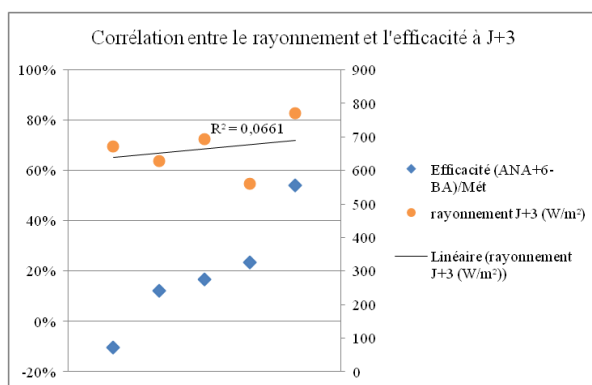
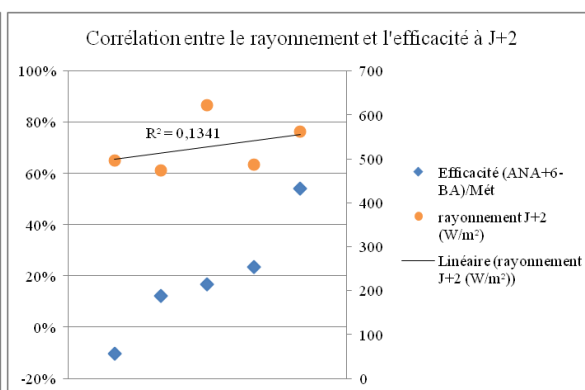
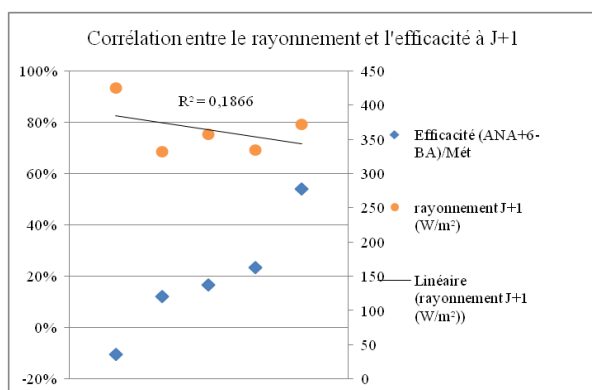
Annexe XVII : Température sur 24 heures dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm au stade 8-10mm. CEFEL



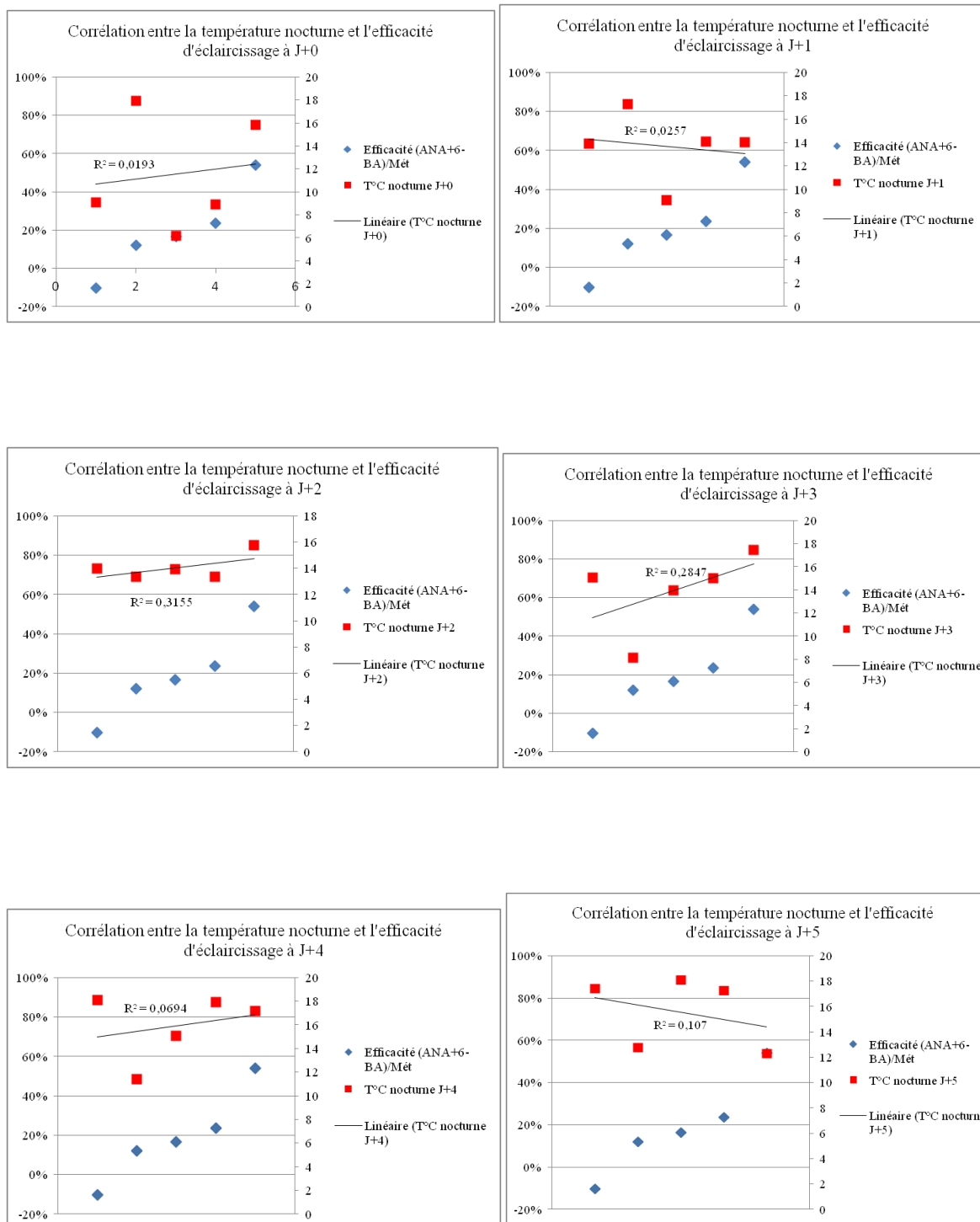
Annexe XVIII : Humidité relative sur 4 heures après la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm au stade 8-10mm. CEFEL



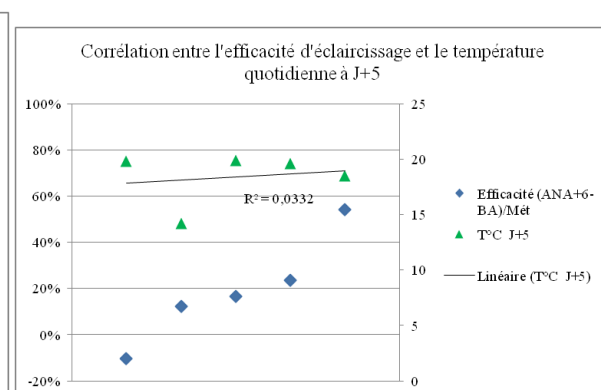
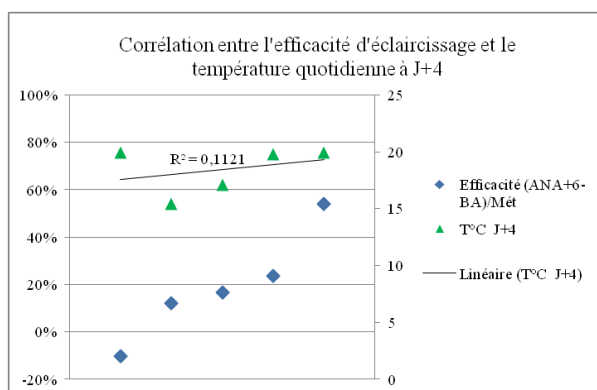
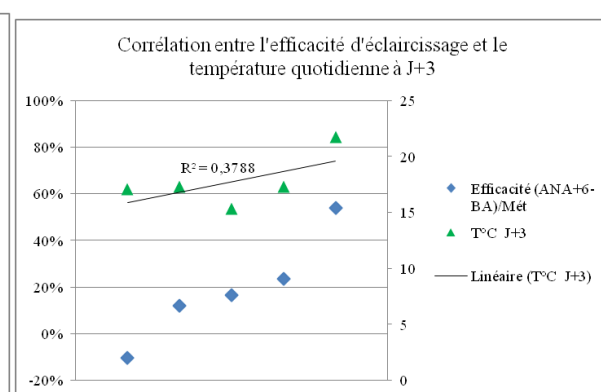
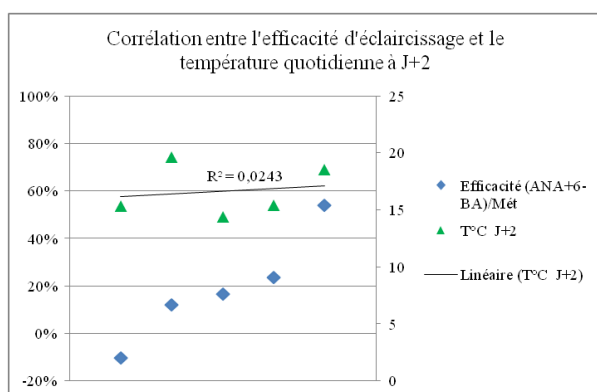
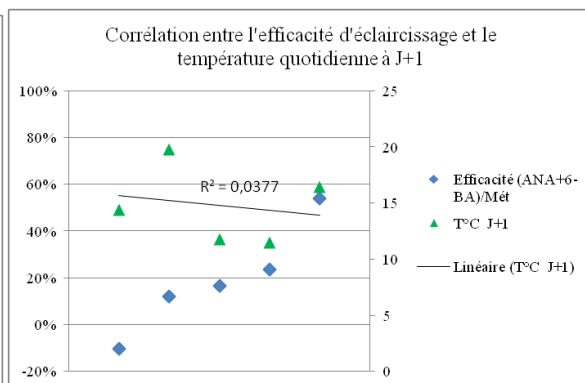
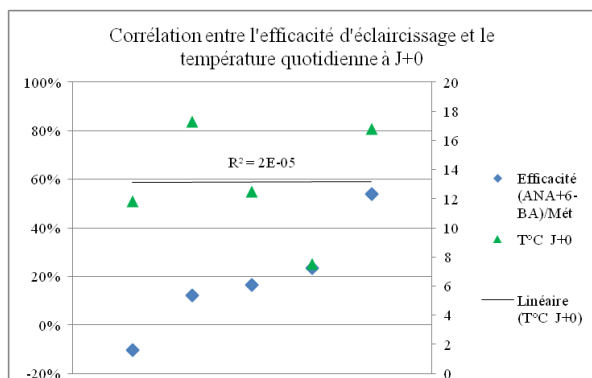
Annexe XIX : Rayonnement solaire (W/m^2) cumulé dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Gala.



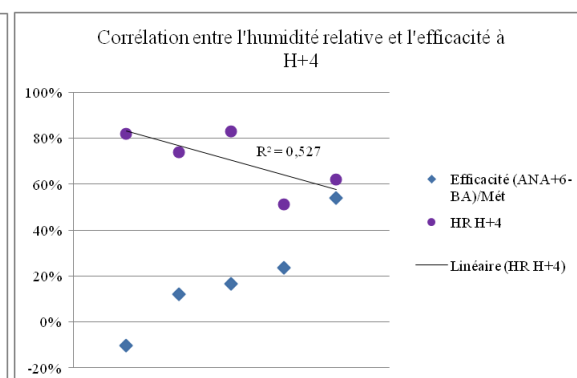
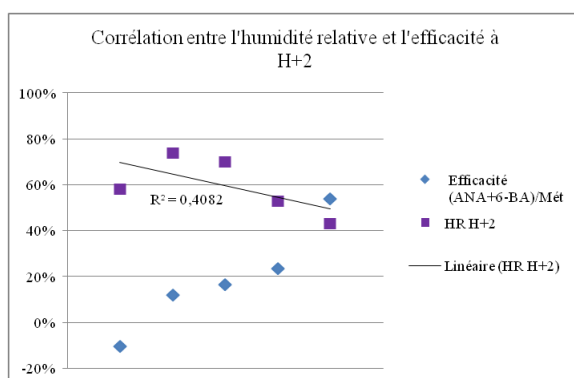
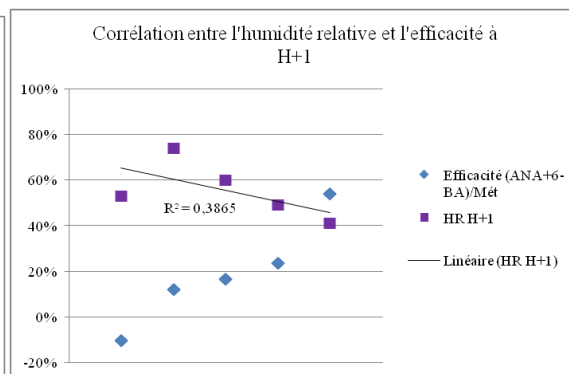
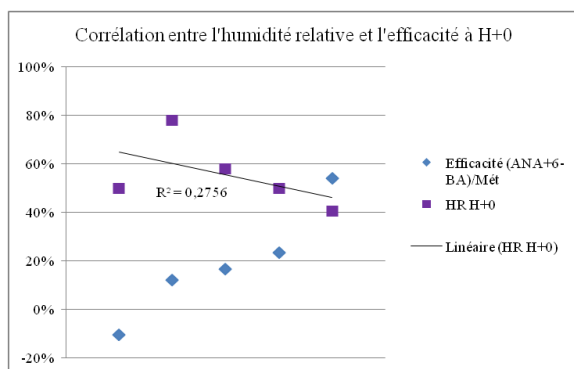
Annexe XX : Température nocturne dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Gala.



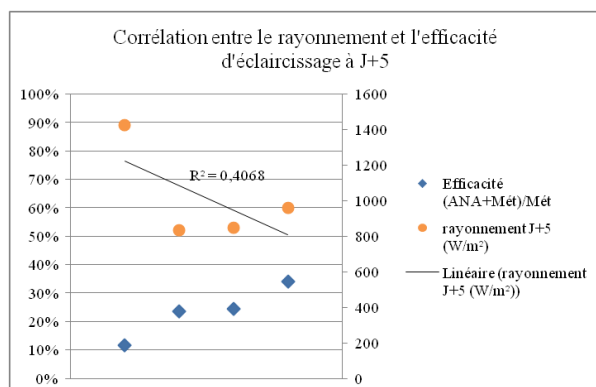
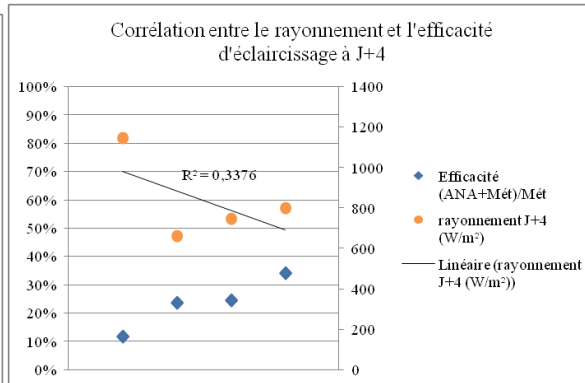
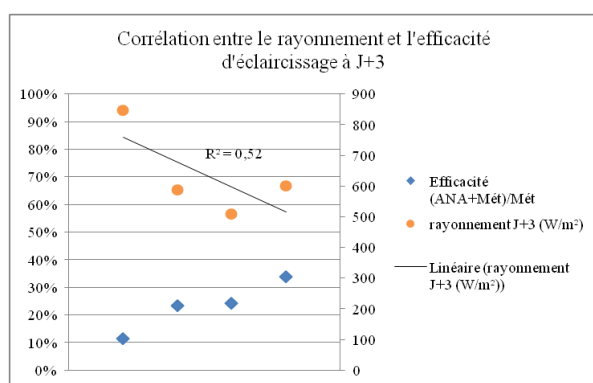
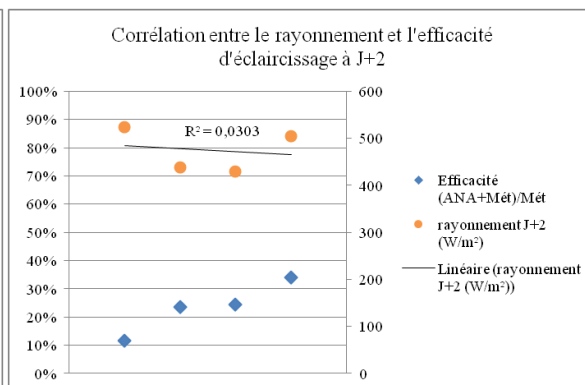
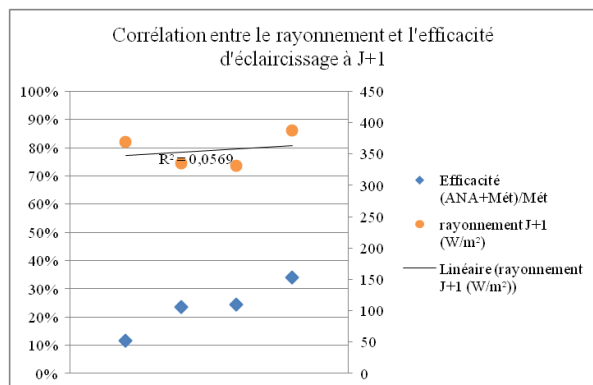
Annexe XXI : Température sur 24 heures dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Gala.



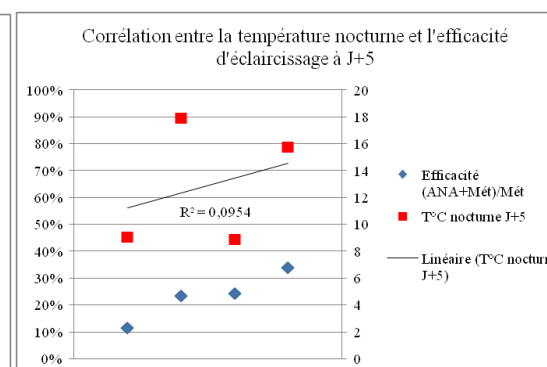
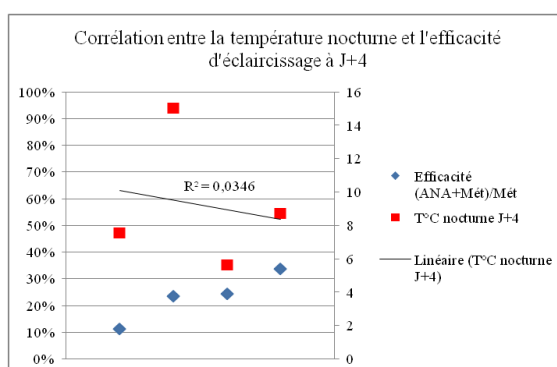
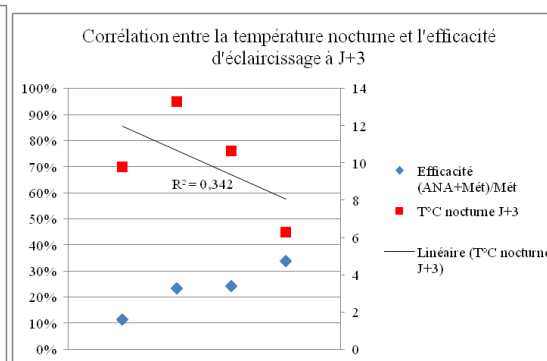
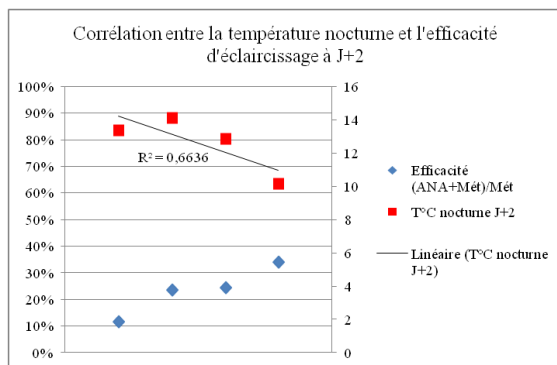
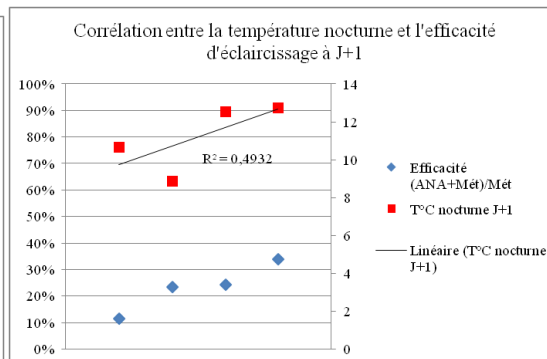
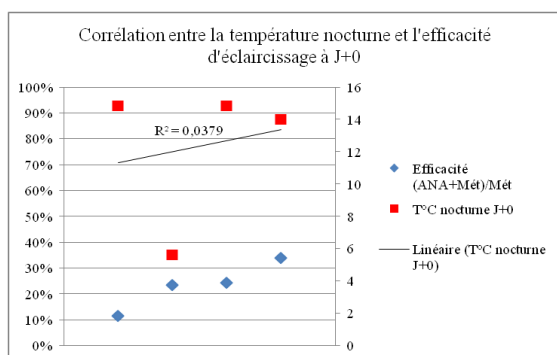
Annexe XXII : Humidité relative sur 4 heures après la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Gala



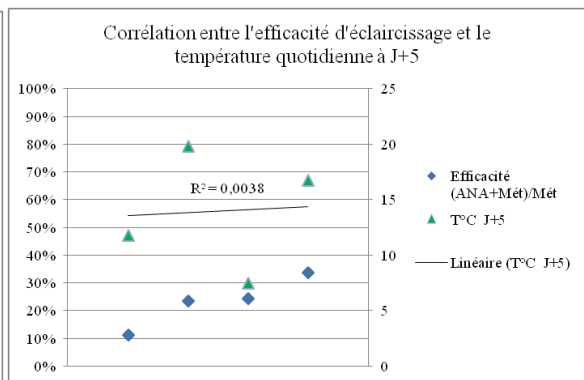
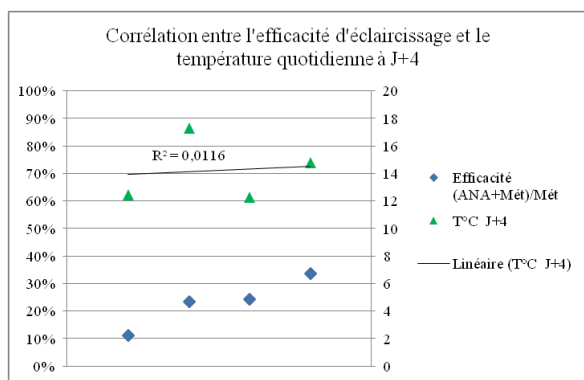
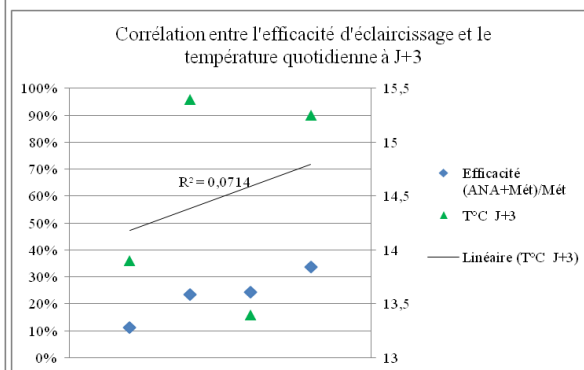
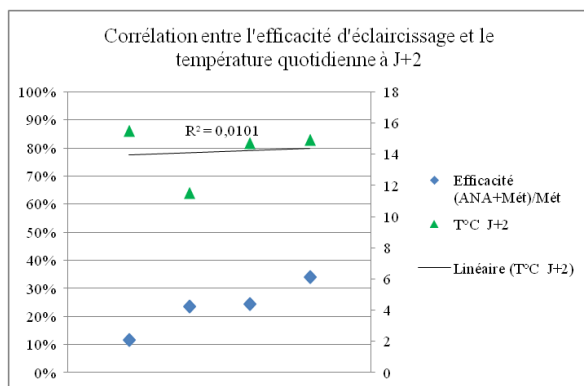
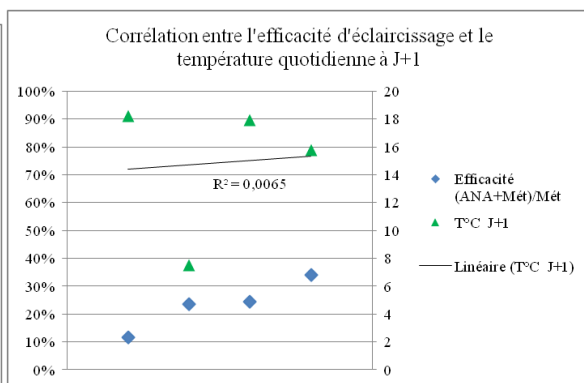
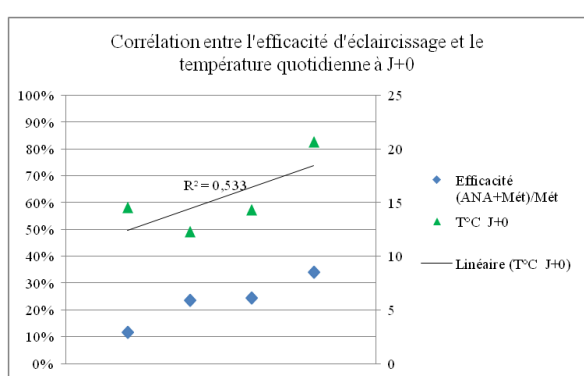
Annexe XXIII : Rayonnement solaire cumulé sur cinq jours après la première application : Métamitron à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm à 8-10mm. Producteurs de Gala.



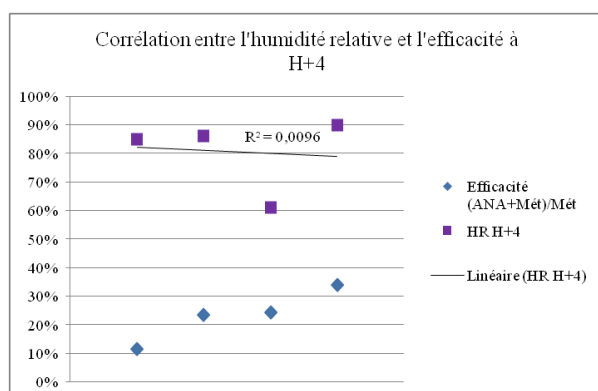
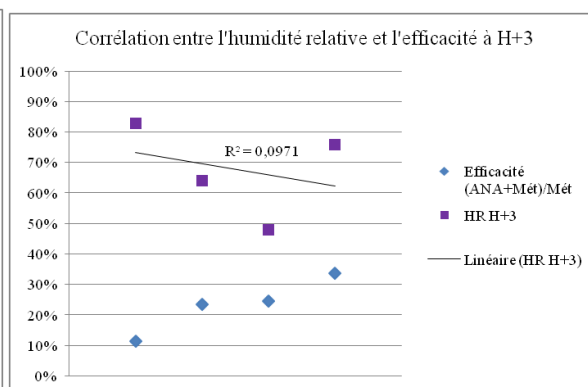
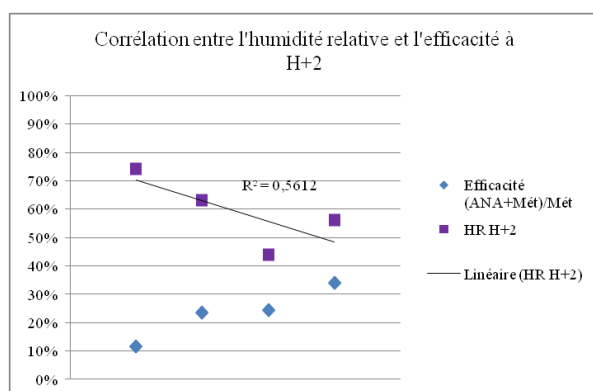
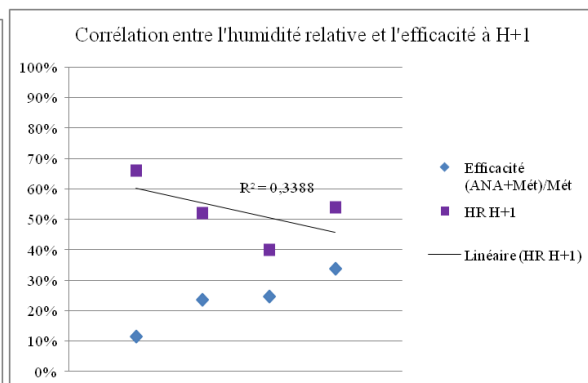
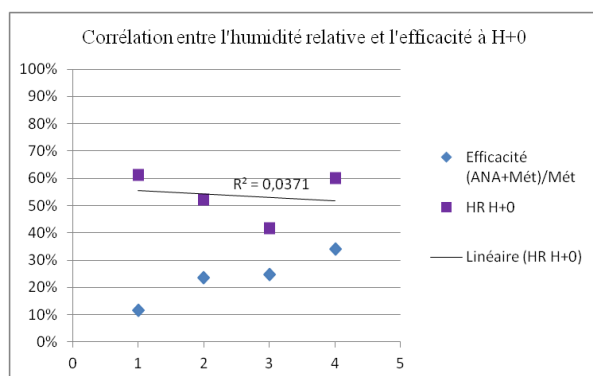
Annexe XXIV : Température nocturne dans les 5 jours suivant la première application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. Producteurs de Gala.



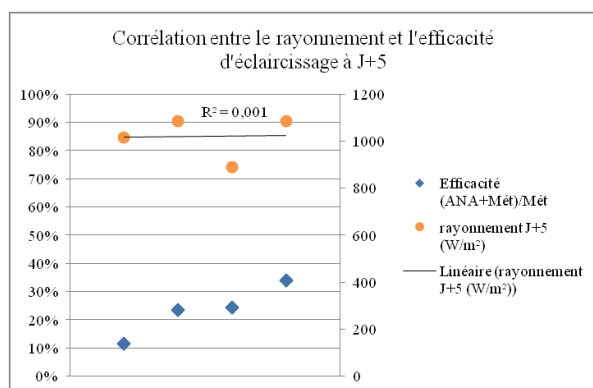
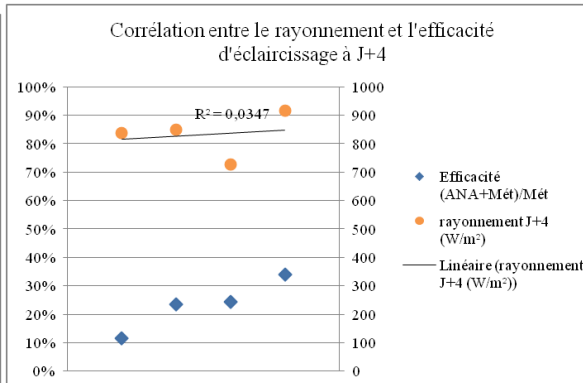
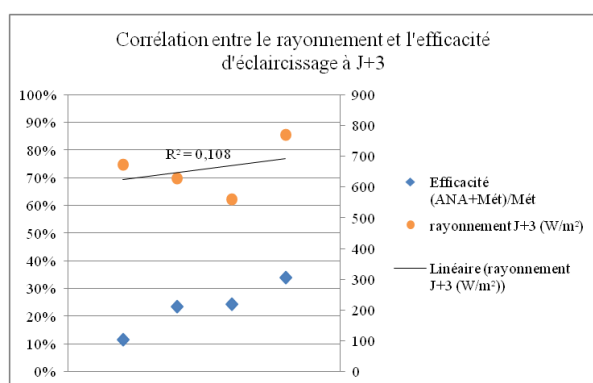
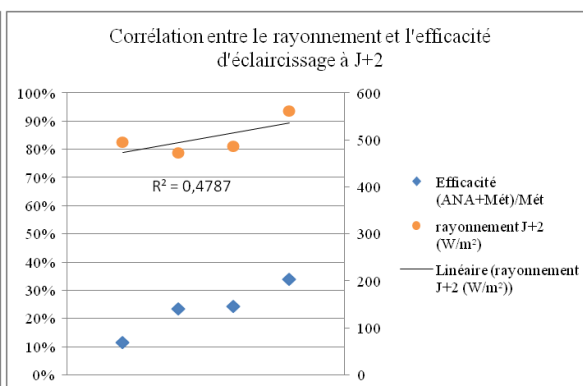
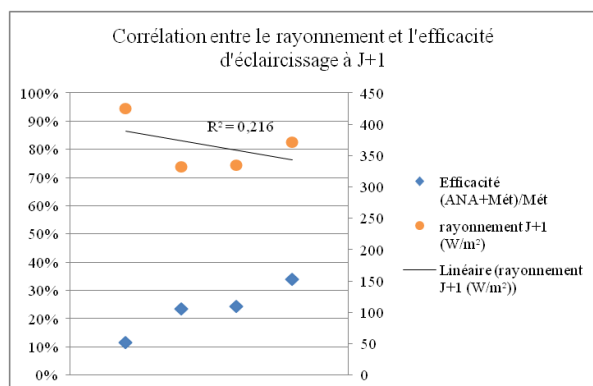
Annexe XXV : Température sur 24 heures dans les 5 jours suivant la première application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. Producteurs de Gala.



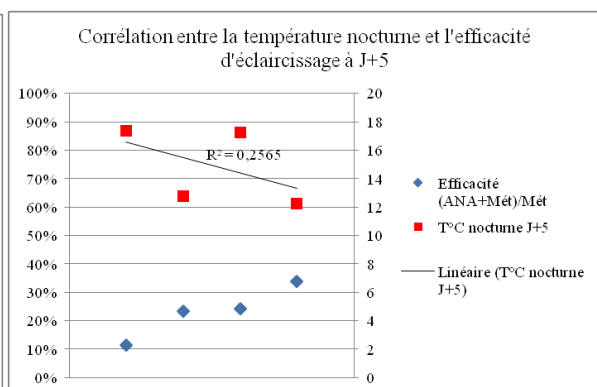
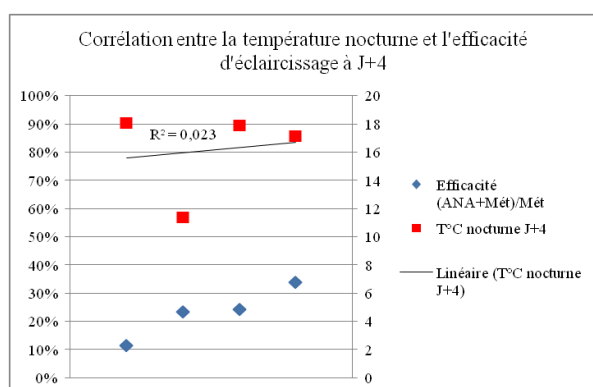
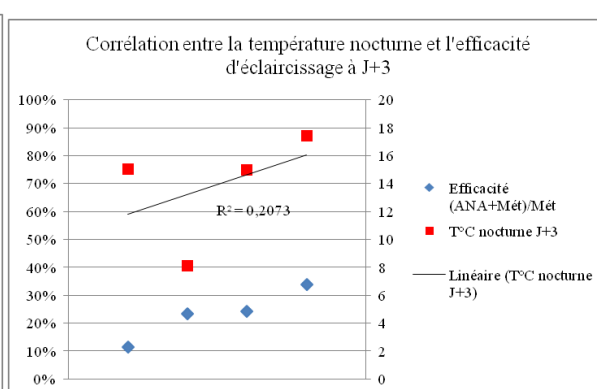
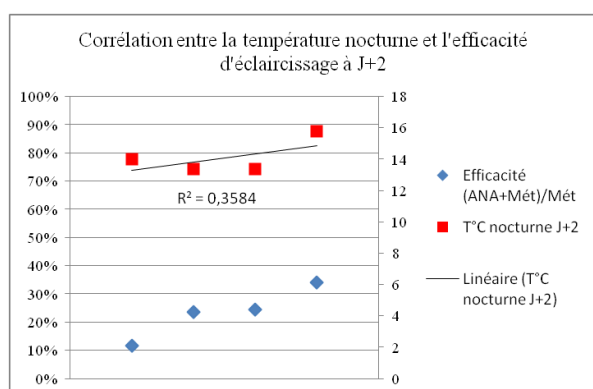
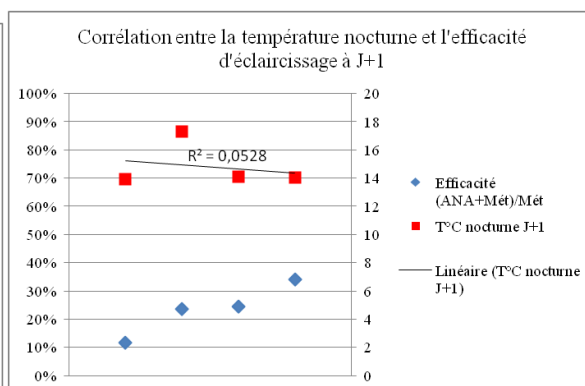
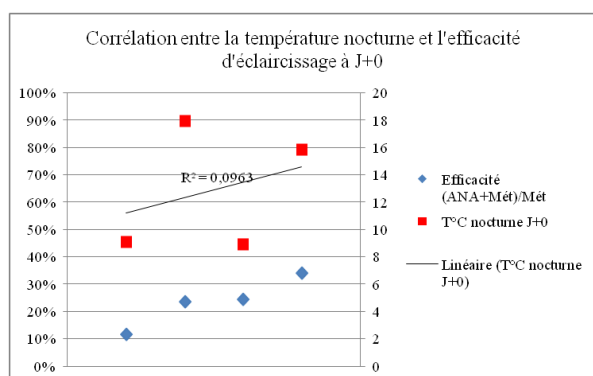
Annexe XXVI : Humidité relative sur 4 heures après la première application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. Producteurs de Gala.



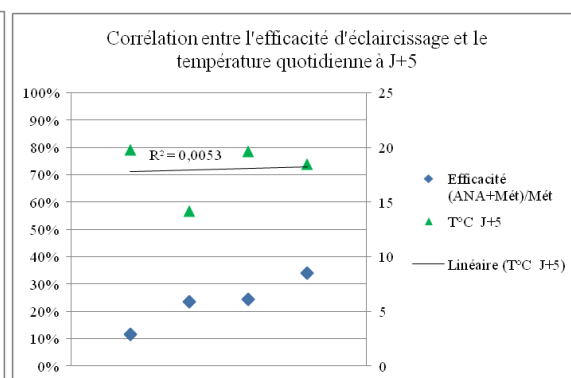
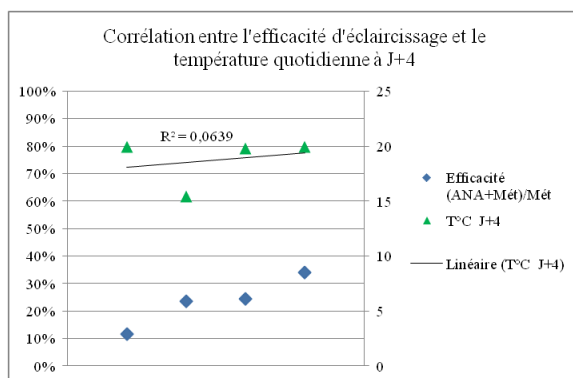
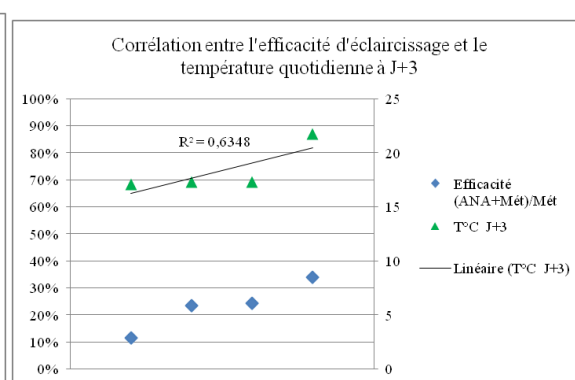
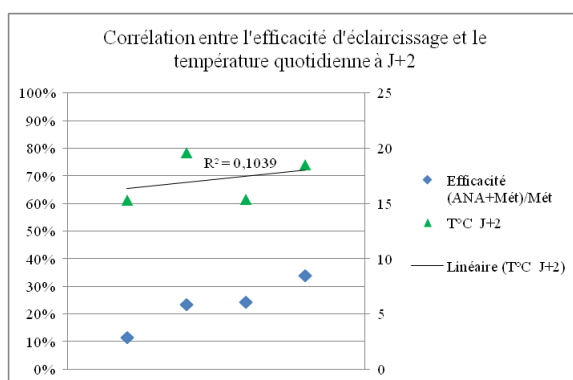
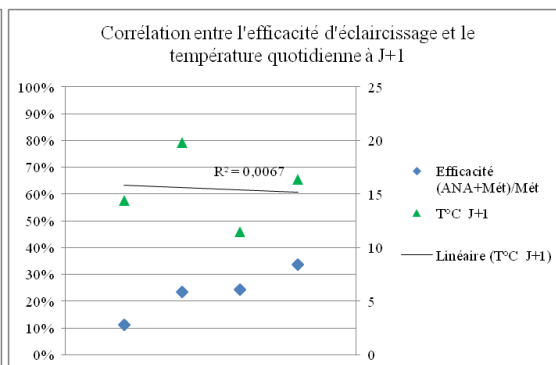
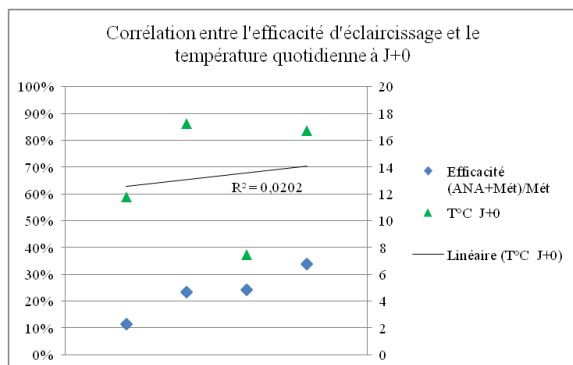
Annexe XXVII : Rayonnement solaire (W/m^2) cumulé dans les 5 jours suivant la seconde application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. Producteurs de Gala.



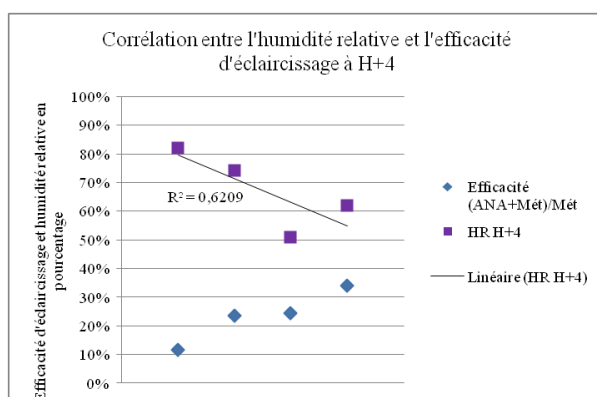
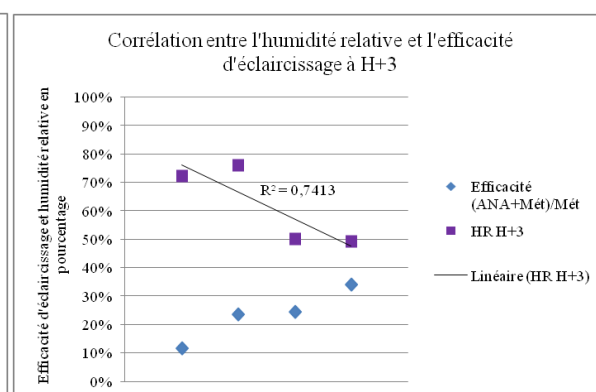
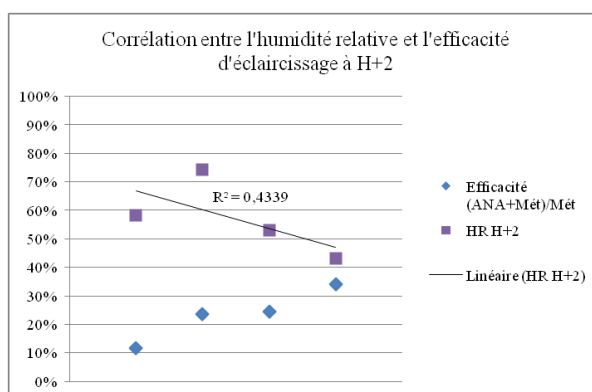
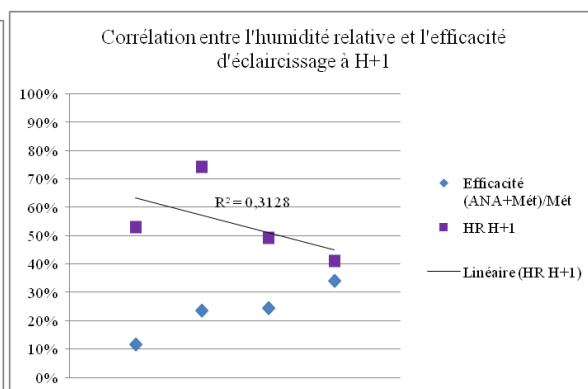
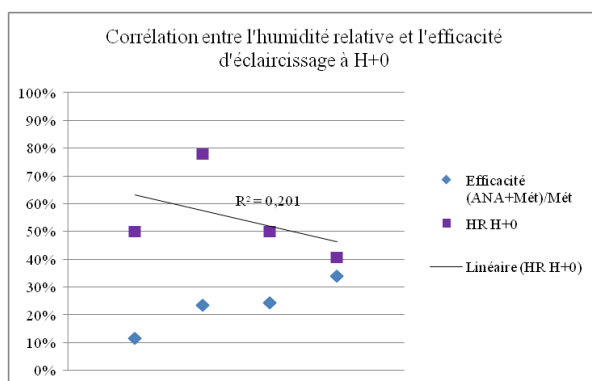
Annexe XXVIII : Température nocturne dans les 5 jours suivant la seconde application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. Producteurs de Gala.



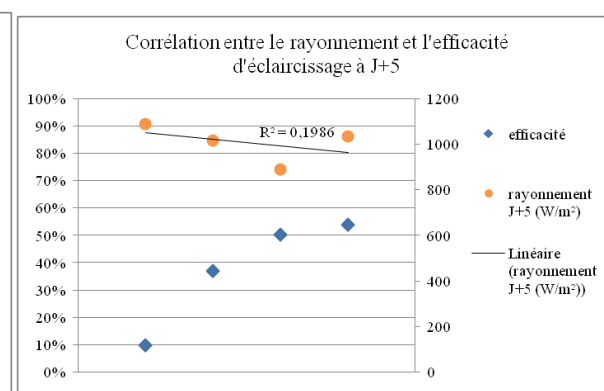
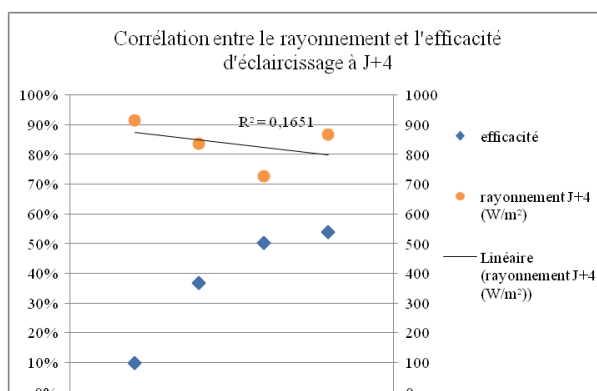
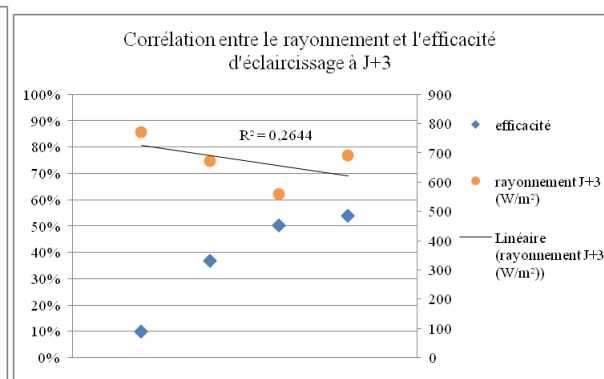
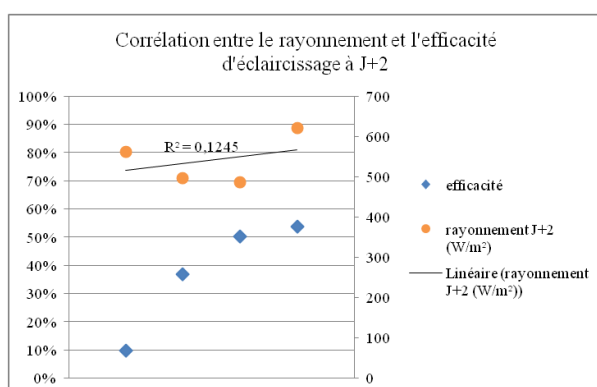
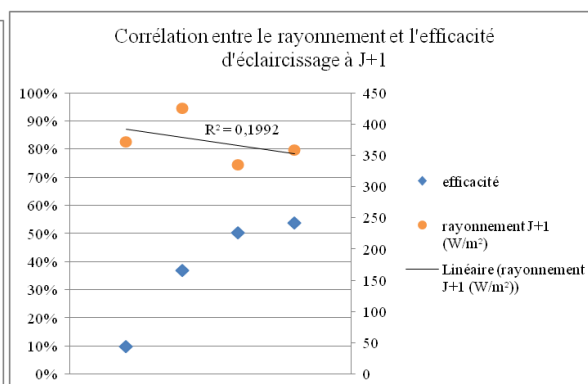
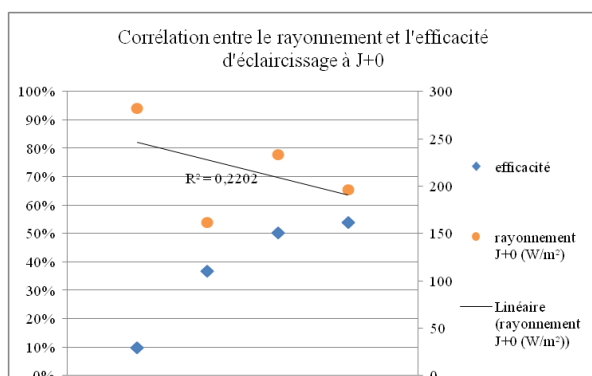
Annexe XXIX : Température sur 24 heures dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Gala.



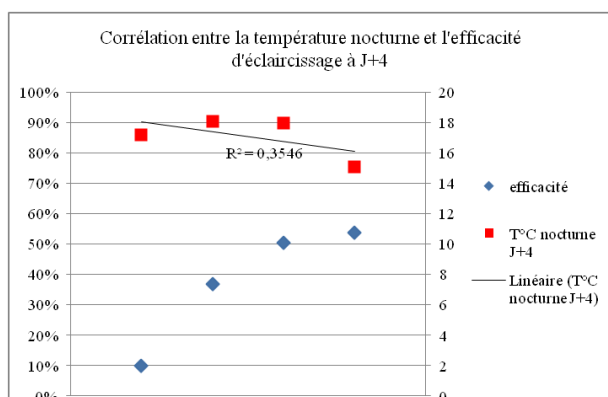
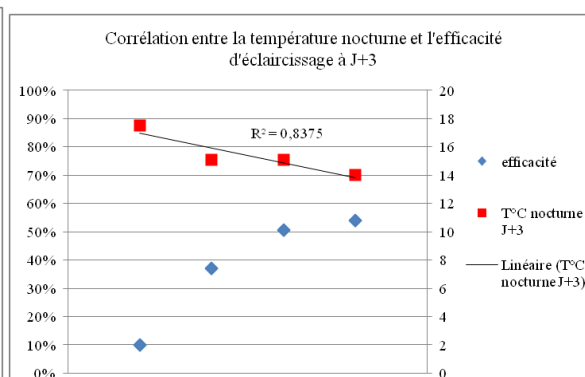
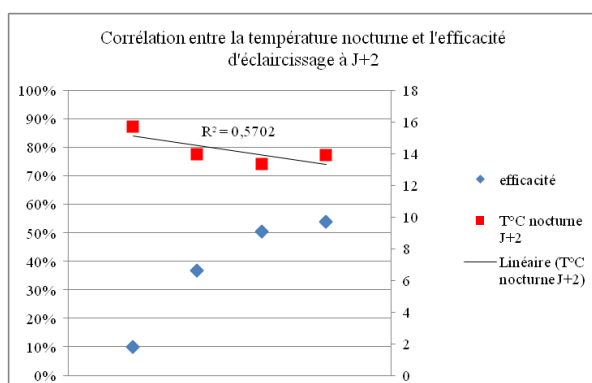
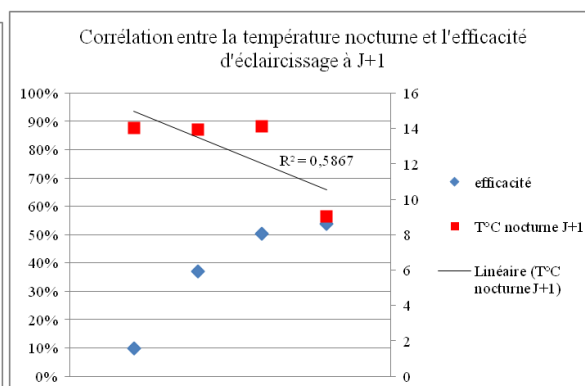
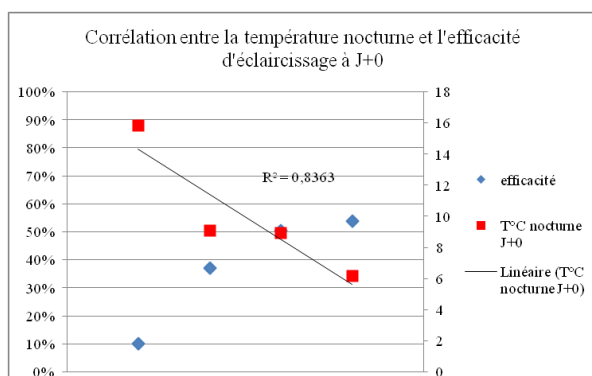
Annexe XXX : Humidité relative sur 4 heures après la seconde application : Métamitronne à 330 ppm à 6-8mm suivie de Métamitronne à 330 ppm à 8-10mm. Producteurs de Gala.



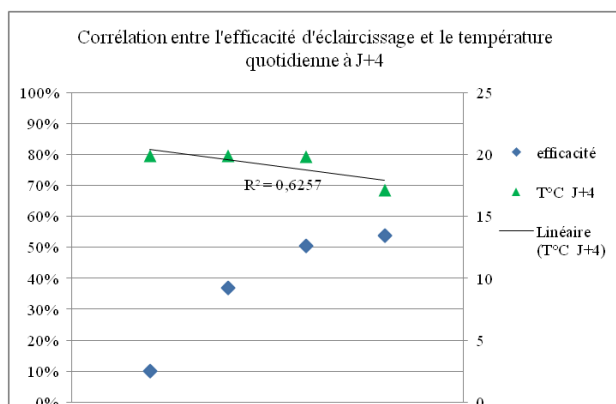
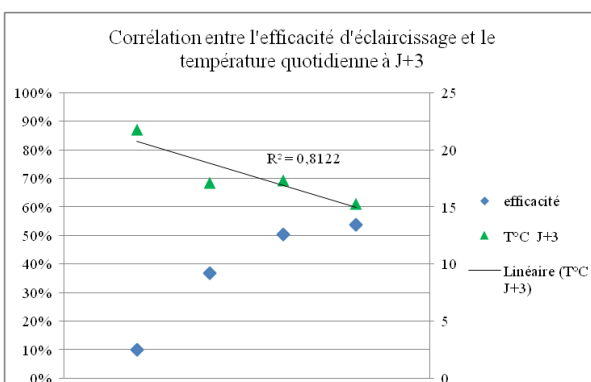
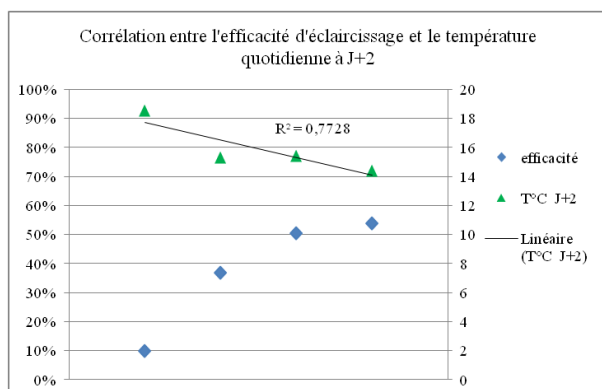
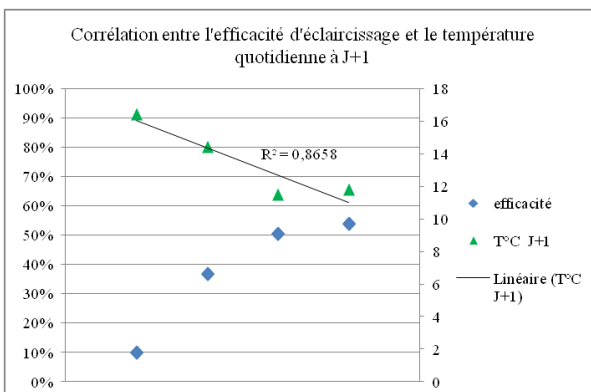
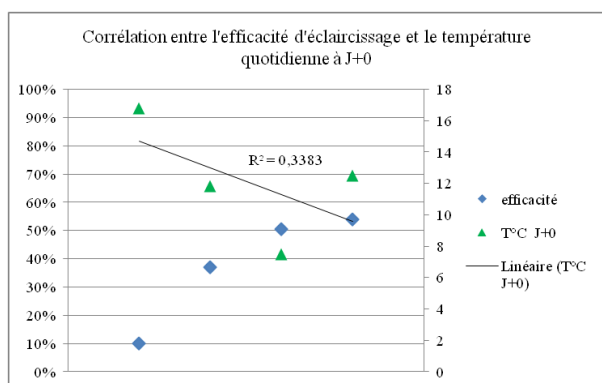
Annexe XXXI : Rayonnement solaire (W/m^2) cumulé dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Fuji.



Annexe XXXII : Température nocturne dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Fuji.



Annexe XXXIII : Température sur 24 heures dans les 5 jours suivant la seconde application : (ANA+6-BA) au stade 6-8mm suivie de Métamitron à 330 ppm au stade 8-10mm. Producteurs de Fuji.



	Diplôme : Ingénieur de l'Institut Supérieur des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage Spécialité : Horticulture Spécialisation / option : Fruits, Légumes, Alimentation et Marché Enseignant référent : Pascale GUILLERMIN	
Auteur(s) : Pierre-Yves LE GUILLOUX Date de naissance* : 05-01-1991		Organisme d'accueil : CEFEL Adresse : 49 chemin des Rives, 82000 Montauban
Nb pages : 44 Annexe(s) : 29		Maître de stage : Jean-François SAINT HILARY
Année de soutenance : 2015		
Titre français : L'éclaircissage du pommier : la métamitronne, un outil d'avenir ? Titre anglais : Thinning apple : metamitron, a tool for the future?		
Résumé (1600 caractères maximum) : L'éclaircissage du pommier consiste en la suppression de bourgeons, fleurs et/ou fruits dans le but d'obtenir un bon rendement et des pommes de calibres intéressants. Cette pratique peut se faire manuellement, mécaniquement ou à l'aide d'éclaircissants chimiques. En 2007, le carbaryl, substance largement utilisée, est interdit pour l'éclaircissage. D'autres matières actives continuent d'être appliquées comme la benzyladénine ou l'acide naphthalène acétique. Mais les résultats obtenus ne sont pas toujours satisfaisant. D'où l'arrivée de la métamitronne, inhibiteur de photosynthèse, comme éclaircissant prometteur. L'objectif de l'étude est de mettre au point une stratégie d'éclaircissage optimale intégrant la métamitronne sur trois variétés : Ariane, Fuji et Gala. Mais également, d'établir si les variables comme le rayonnement solaire (W/m²), la température sur 24 heures et nocturne et l'humidité relative ont une influence sur l'efficacité d'éclaircissage de la métamitronne. Pour Ariane et Fuji la stratégie la plus probante est : (ANA+6-BA) au stade 6-8 mm, suivi de métamitronne à 8-10 mm à la dose de 330 ppm ; pour Gala : une application d'un mélange (ANA+6-BA) à 6-8 mm suivi de métamitronne à 8-10 mm à 247,5 ppm. Une faible corrélation a été trouvée entre l'efficacité d'éclaircissage de métamitronne et une luminosité faible dans les 5 jours suivant l'application de l'éclaircissant. Aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre les autres paramètres météorologiques et l'efficacité d'éclaircissage.		
Abstract (1600 caractères maximum) : Apple Thinning involves the removal of buds, flowers and / or fruit in order to get a good crop. This practice can be done manually, mechanically or with chemical lighteners. In 2007, carbaryl, widely used substance is forbidden. Other active ingredients continue to be applied as benzyladenine or naphthalene acetic acid. But the results are not always satisfactory. Hence the arrival metamitron, photosynthesis inhibitor, as lightening promising. The aim of the study is to develop an optimal strategy incorporating metamitron for three varieties: Ariane, Fuji and Gala. But also to establish if variables such as solar radiation (W / m²), temperature over 24 hours and night and relative humidity influence the efficacy of metamitron. For Ariane and Fuji the strategy with the most significant results is: (ANA + 6-BA) at 6-8 mm, followed by metamitron at 8-10 mm at a dose of 330 ppm ; for Gala: an application of a mixture (ANA + 6-BA) at 6-8 mm followed by metamitron at 8-10 mm 247.5 ppm. A weak correlation was found between the efficacy of thinning metamitron and low brightness in 5 days after the application of lightening. No correlation was found between the other meteorological parameters and efficacy of thinning.		
Mots-clés : pommier, éclaircissage, chimique, métamitronne, calibre, rendement, conditions climatiques, stratégie, Ariane, Gala, Fuji Key Words: apple tree, thinning, chemical, métamitronne, yield, size, weather conditions, strategy, Ariane, Gala, Fuji		

