



HAL
open science

Gestion et restauration de la qualité des peuplements de romarin sur le site de la Côte Bleue du conservatoire du Littoral au profit des pollinisateurs sauvages

M. Vennetier, F. Guerra, Romain Esteve, J.M. Lopez, C. Travaglini, M. Audouard, P. Roche

► To cite this version:

M. Vennetier, F. Guerra, Romain Esteve, J.M. Lopez, C. Travaglini, et al.. Gestion et restauration de la qualité des peuplements de romarin sur le site de la Côte Bleue du conservatoire du Littoral au profit des pollinisateurs sauvages. [Rapport de recherche] irstea. 2017, pp.21. hal-02609448

HAL Id: hal-02609448

<https://hal.inrae.fr/hal-02609448v1>

Submitted on 16 May 2020

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.



Conservatoire
du littoral

Rapport final

Gestion et restauration de la qualité des peuplements de romarin
sur le site de la Côte Bleue du conservatoire du Littoral
au profit des pollinisateurs sauvages

5 décembre 2017

Irstea Aix-en-Provence

UR RECOVER - EMR

3275 route Cézanne

CS 40061

13182 Aix-en-Provence Cedex 5

Coordination : Vennetier Michel.

**Contributions : Guerra Fabien, Estève Roland,
Lopez Jean Michel, Travaglini Christian,
Audouard Mathieu, Roche Philip**



Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture



Résumé

Contexte

La côte bleue est un haut lieu de l'apiculture en Provence, et une forte concentration de ruche est constatée chaque printemps pour la floraison des romarins. Cependant, une tendance à la sénescence des romarins est observée depuis quelques années sur une grande partie de la côte bleue, et le domaine du Conservatoire n'échappe pas à cette tendance. Cette sénescence est en partie normale plus de 25 à 35 ans après les incendies ayant conduit à la formation de ces garrigues. Mais elle est accentuée sous l'effet de périodes de sécheresses répétées, et pour certaines exceptionnelles, dans les 15 dernières années. Elle se traduit par un dessèchement partiel des touffes de romarin, et par une diminution des floraisons. Dans ce contexte, une inquiétude est née concernant la concurrence que pourraient exercer les abeilles domestiques en surnombre vis-à-vis des pollinisateurs sauvages. Maintenir ou améliorer la floraison des romarins tout en stabilisant le nombre de ruches serait une solution pour limiter cette concurrence.

Par ailleurs, des projets de production d'huile essentielle de romarin sauvage ont été évoqués. Ils supposent que les romarins soient suffisamment vigoureux et en bonne santé pour permettre une récolte régulière dans de conditions économiques acceptables. Ils supposent aussi que l'exploitation des romarins se fasse dans des conditions de gestion durable: il faut donc que cette exploitation contribue au renouvellement voire à l'amélioration des peuplements.

Objectifs et méthode

L'objectif de cette étude est de tester une méthode de rajeunissement et revitalisation des romarins en milieu naturel, dans des garrigues vieillissantes. Cette méthode peut préfigurer ce que serait l'exploitation des romarins dans un objectif de production d'huile essentielle et de maintien du potentiel nectarifère.

Nous avons choisi 3 sites de suivi pluriannuel. Dans chaque site, nous avons comparé trois traitements: coupe haute (0.5-1m), coupe basse (0.3-0.5m) et témoin non coupé. Chaque traitement est répété 2 fois (sol profond/superficiel), soit 18 placettes au total, et 50 romarins par placettes. La vigueur, la structure et l'état de santé de chaque romarin ont été notés avant traitement en 2015, puis suivis en 2016 et 2017 en même temps que la floraison. Devant le dépérissement des garrigues constaté dès 2016, qui s'est fortement aggravé et étendu en été 2017, une mesure supplémentaire a été effectuée en automne 2017.

Nous avons aussi tenté d'évaluer le potentiel en romarin du domaine du Conservatoire à partir d'image satellites et d'une validation de terrain sur 30 sites avec 6 vérifications par site (180 points de contrôle).

Résultats

Les pieds de romarins non traités sont très majoritairement en mauvais état sanitaire, et leur floraison a été faible en 2016 comme en 2017. En plus du dépérissement initial, la floraison printanière de 2016 a été limitée par une floraison très précoce s'étalant durant la fin d'automne 2015 et tout l'hiver 2015-2016. Celle-ci a utilisé par anticipation de nombreux bourgeons, sans utilité pour les pollinisateurs printaniers. Certains pieds ont refait sporadiquement des pousses florifères au printemps. La floraison du printemps 2017 a été limitée par la grande sécheresse de l'été 2016 qui a accentué le dépérissement.

Les romarins taillés ont rejeté le plus souvent avec vigueur, quel que soit le niveau de la taille. La taille haute a permis de retrouver plus rapidement un plus grand nombre de branches florifères, avec une floraison importante dès 2017, donc 2 ans après la taille. La taille basse a donné lieu à moins de branches, mais elles se sont montrées florifères, et le résultat est prometteur pour les années suivantes. La taille constitue donc une solution efficace de rajeunissement des romarins dépérissants. Elle a évité en 2016 le dépérissement des pieds taillés, qui sont restés bien verts alors que les témoins jaunissaient.

La sécheresse de 2017 a fait dépérir ou mourir la quasi-totalité des romarins suivis, taillés ou non. Une mesure complémentaire au printemps 2018 permettrait de vérifier leur éventuelle survie.

Les photos satellites, malgré des incertitudes qui ont pu être expliquées, donnent une idée assez bonne du potentiel général en romarin de la côte bleue, sans que la cartographie puisse être précise.

Plan du rapport

1	Contexte de l'étude	4
2	Protocoles de l'expérimentation:.....	5
2.1	Choix des protocoles de suivi	5
2.2	Réalisation:	5
3	Résultats	7
3.1	Evolution taille/santé/floraison	7
3.1.1	Hauteur des romarins et son évolution.....	7
3.1.2	Evolution de la santé des romarins.....	10
3.2	Evolution générale des garrigues de la côte bleue	12
4	Cartographie de la ressource en romarin par télédétection.....	14
4.1	Carte satellite	14
4.2	Points de contrôle	15
4.3	Evaluation des erreurs du classement satellite	17
4.4	Recherche des causes d'erreur du classement satellite	18
4.5	Evaluation de la ressource réelle avant dépérissement	19
5	Conclusions	20



Rapport final

CONTRAT DE COLLABORATION DE RECHERCHE FONDAMENTALE ET APPLIQUEE

**pour la mise en place d'un programme de recherches et développement sur :
la gestion et restauration de la qualité des peuplements de romarin
au profit des pollinisateurs sauvages sur le site de la Côte Bleue (13)**

1 Contexte de l'étude

La côte bleue est un haut lieu de l'apiculture en Provence, et une forte concentration de ruche est constatée chaque printemps pour la floraison des romarins. L'abondance du romarin est liée aux garrigues qui dominent le paysage. Certaines de ces garrigues sont très anciennes, entretenues depuis des siècles par le pâturage et le feu. D'autres résultent du passage fréquent des incendies qui ont progressivement fait disparaître la forêt de pin d'Alep, qui prédominait au moins par endroits au milieu du 20^{ème} siècle. Ce dernier reste très présent par bouquets ou par des pieds disséminés, même s'il est absent sur des surfaces importantes. Là où le dernier incendie est ancien et où des adultes étaient présents avant le feu, il peut reformer des peuplements denses qui étouffent la garrigue. Il a aussi été planté par endroits, avec du pin brutia. Les plantations ne représentent que quelques pourcents de la surface. Parmi les autres arbres, seuls le chêne vert et les genévriers sont relativement abondants.

Les garrigues actuelles sont dominées par trois espèces arbustives : le chêne kermès, le ciste de Montpellier (accompagné d'autres cistes), et l'ajonc piquant (*Ulex parviflorus*). Dans les zones ouvertes, le brachypode penné domine la strate herbacée. De nombreuses autres plantes se trouvent disséminées en proportion globalement faible, tout en pouvant parfois être localement abondantes: thym, badasse (*Dorycnium pentaphyllum*), filaires, *Odontites lutea*, buplèvre, ainsi qu'une riche flore d'herbacées et de petites espèces semi-ligneuses.

L'ensemble de cette flore présente un grand intérêt mellifère : outre les plantes nectarifères principales, comme le romarin, la badasse et le thym, de nombreuses espèces de petite taille procurent une ressource en nectars certes limitée en quantité, mais variée, et qui s'étale dans le temps au printemps et en automne. Par ailleurs, certaines des espèces dominantes, dont les cistes et les chênes, procurent de grandes quantités de pollens indispensables aux abeilles domestiques et sauvages et à beaucoup d'autres insectes pollinisateurs. (On peut se référer au guide technique "Débroussaillage réglementaire et apiculture" d'Irstea pour plus de détails).

Cependant, une tendance à la sénescence des romarins, et d'autres espèces dominantes des garrigues, est observée depuis quelques années sur la côte bleue, et le domaine du Conservatoire n'échappe pas à cette tendance. Cette sénescence est en partie normale plus de 25 à 40 ans après les incendies ayant conduit à la formation de ces garrigues. Mais elle est accentuée sous l'effet de périodes de sécheresses répétées, et pour certaines exceptionnelles, dans les 15 dernières années. Elle se traduit par un dessèchement partiel des touffes de romarin, et par une diminution des floraisons. Dans ce contexte, une inquiétude est née concernant la concurrence que pourraient exercer les abeilles domestiques, en surnombre, vis-à-vis des pollinisateurs sauvages. Maintenir ou améliorer la floraison des romarins tout en stabilisant le nombre de ruches serait une solution pour limiter cette concurrence.

Par ailleurs, des projets de production d'huile essentielle de romarin sauvage ont été évoqués. Ils supposent que les romarins soient suffisamment vigoureux et en bonne santé pour permettre une récolte régulière dans de conditions économiques acceptables. Ils supposent aussi que l'exploitation des romarins se fasse dans des conditions de gestion durable: il faut donc que cette exploitation contribue au renouvellement voire à l'amélioration des peuplements.

C'est dans ce contexte que le projet de recherches et développement sur la gestion et restauration de la qualité des peuplements de romarin au profit des pollinisateurs sauvages a été initié. Ce projet est mis en œuvre par Irstea Aix-en-Provence.

2 Protocoles de l'expérimentation:

2.1 Choix des protocoles de suivi

Trois traitements ont été choisis: deux traitements de recépage du romarin (coupe respectivement haute et basse), et présence d'un traitement témoin non recépi pour suivre l'évolution naturelle des peuplements.

Les traitements sont répétés dans différentes conditions pour être représentatifs de la variabilité des garrigues concernées, et pour une bonne fiabilité des résultats:

* Application à deux types de garrigues (fertilité respectivement bonne et faible);

* Répétition dans trois sites différents pour assurer la qualité des résultats.

Nombre total de placettes: 18 (2 fertilités * 3 traitements * 3 répétitions) :

Sur sites peu fertiles: Coupe basse (30cm) + Coupe haute (50 - 60 cm) + témoin

Sur sites fertiles : Coupe basse (30cm) + Coupe haute (80 - 100 cm) + témoin.

La hauteur de coupe a été choisie d'après une première expérimentation réalisée entre 2010 et 2013 sur la commune du Puy Sainte Réparate dans le cadre d'un projet sur le débroussaillage (et dont le suivi a été assuré durant ce nouveau projet). Les 3 hauteurs de coupe de cet essai initial étaient " ras du sol", 15 et 30 cm mais les romarins étaient plus jeunes en moyenne que ceux de la côte bleue. Beaucoup plus simple (1 seul site, pas de répétition), cette première étude a cependant montré que le romarin ne rejetait quasiment pas à partir de la souche, quand il était coupé très près du sol. En réalité, il développe de nouvelles pousses partir de rameaux vivants, que les branches qui les portent soient dressées, ou couchées au sol en cas d'écrasement. C'est cette tendance des branches basses à prendre racine quand elles touchent le sol et à refaire des pousses verticales (cas fréquent quand des pieds sont écrasés par les engins de débroussaillage), qui peut parfois faire croire à des rejets de souche. De même quand des débroussaillages passent fréquemment sur les mêmes sites, le romarin conserve des petites branches vivantes très près de la souche, qui vont permettre l'apparition de rejets si la souche n'est pas broyée, faisant croire que c'est la souche elle-même qui a rejeté. En pratique, il est apparu que pour obtenir des rejets nombreux et vigoureux, il fallait tailler le romarin au-dessus de ses premiers rameaux encore verts; donc pas forcément à une hauteur prédéfinie, mais plutôt à une hauteur relative à leur hauteur totale et à leur structure, pour conserver des branches vivantes. Les hauteurs proposées pour la côte bleue ont tenu compte de la différence d'âge et de taille entre les deux essais. Les vieux romarins ont rarement un nombre suffisant de rameaux vivants en dessous de 30 cm, surtout dans des garrigues denses où la concurrence les oblige à se développer en hauteur. L'objectif a été de réduire la hauteur des pieds d'environ 50% pour la taille dite "basse" et 30% pour la taille "haute".

Sur la côte bleue, 50 pieds de romarin ont été choisis par placette. Ces 50 individus sont choisis pour être représentatifs en taille et état sanitaire du peuplement concerné. Il y a donc des grands et des petits, des individus avec de nombreuses tiges partant de la même souche (jusqu'à 30) et des individus n'ayant qu'une ou quelques tiges dominantes, des individus très étalés dans l'espace (jusqu'à plusieurs m²/pied) et d'autres d'envergure très limitée (1/10^{ème} m²), et parmi ces catégories des individus dans des états sanitaires allant de très bien portant à dépérissant, avec tous les intermédiaires. On peut cependant noter que très peu d'individus bien portant ont été trouvés dans ces garrigues à l'origine du projet en 2015.

2.2 Réalisation:

Les travaux d'installation ont été réalisés en fin de printemps 2015. Trois sites ont été choisis pour leur forte densité de romarin facilitant le travail: petite taille des placettes, facilité de repérage et de suivi, gain de temps, perturbation minimale sur le milieu et relative discrétion. Ils sont représentés sur la *figure 1* page suivante.

Chaque placette est repérée par des marques de couleur en limite. A l'intérieur de chaque placette, les 50 pieds de romarin ont été cartographiés au GPS de haute précision (*figures 2 et 3*), marqués à la peinture pour un repérage facile et étiquetés (*figure 4*), et décrits suivant un protocole standard : hauteur, nombre de brins, diamètre des brins ou du "tronc" à la base pour les vieux pieds, extension spatiale des branches de l'individu (suivant deux dimensions perpendiculaires, dont la plus grande), état sanitaire initial (basé sur le pourcentage de rameaux morts, la densité et la couleur du feuillage, noté de 0 = mort à 4 = vigoureux et bien vert), floraison (de 0 = sans fleurs à 4 = floraison dense et généralisée). La coupe a été réalisée quelques jours après le marquage.

Les mesures de suivi reprenant les mêmes notations ont été effectuées aux printemps 2016 et 2017. Une mesure supplémentaire, limitée à l'état sanitaire, a été réalisée en automne 2017 pour évaluer le niveau de dépérissement des romarins suite à la sécheresse très intense de l'été 2017.

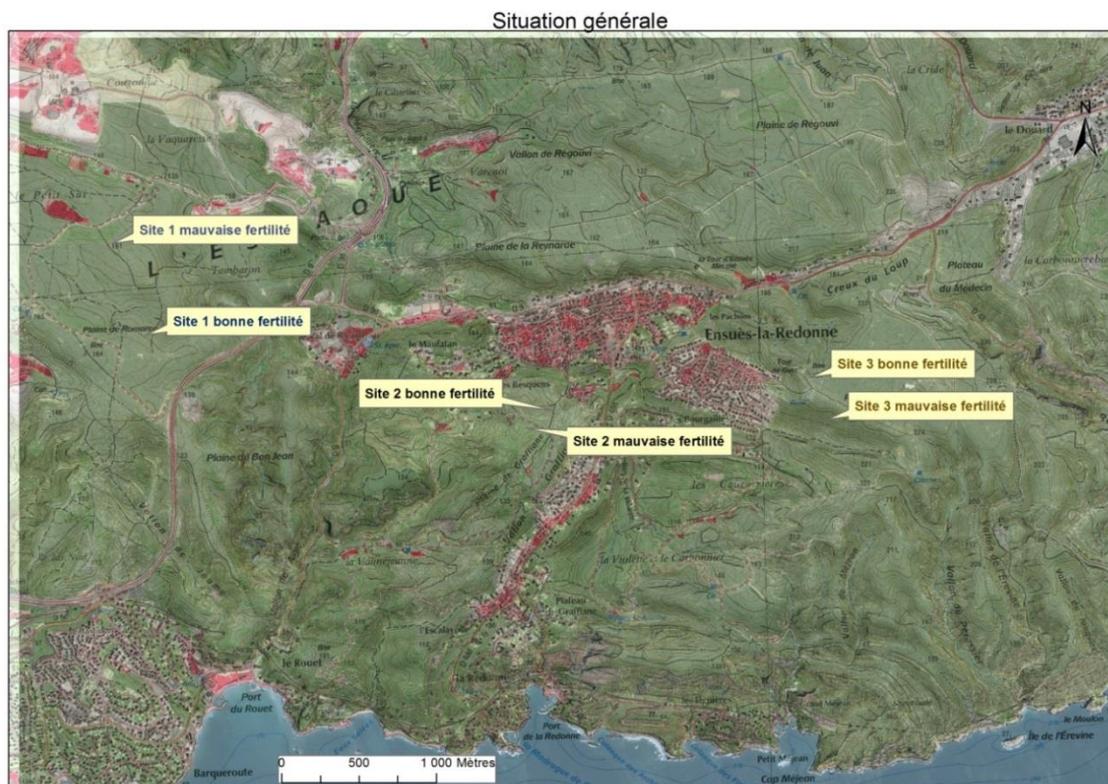
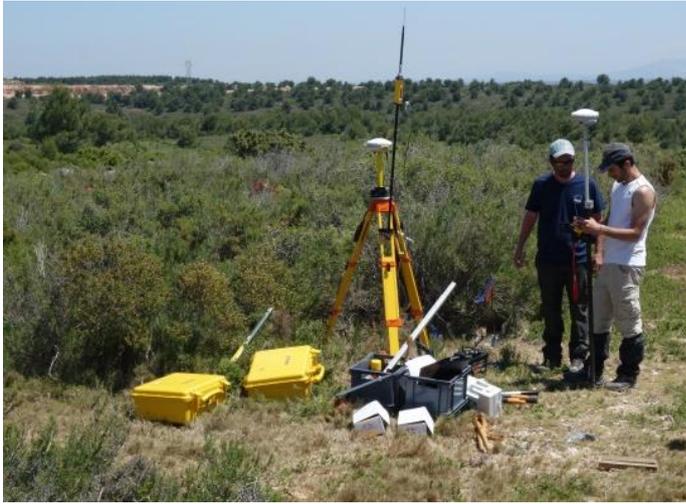


Figure 1 : Localisation des trois sites d'étude, avec leurs deux composantes: milieu fertile et non fertile.



Figure 2: Localisation individuelle des pieds de romarin dans les trois traitements de faible fertilité pour le site n° 1. La position des pieds de romarin est précise à moins de 10 cm près, ce qui permet de retrouver chaque pied même en cas de disparition des étiquettes. Des cas de disparition d'étiquettes ont été notés pour diverses raisons: vandalisme (quelques cas), travaux de débroussaillage ou layonnage débordant sur les placettes, et surtout destruction par des rongeurs (qui se font les dents sur les étiquettes et les coupent en morceaux en les broyant). Nous avons remplacé les étiquettes manquantes à chaque mesure.



Figures n° 3 et 4 : Positionnement de la base GPS en vue du repérage haute précision (à gauche) et marquage / étiquetage individuel des romarins repérés (à droite).

3 Résultats

3.1 Evolution taille/santé/floraison

Les *tableaux 1.a, b et c* résument l'ensemble des mesures réalisées sur la hauteur, la croissance, la santé et la floraison des romarins dans les placettes de suivi, entre le printemps 2015 et la fin d'automne 2017.

3.1.1 Hauteur des romarins et son évolution

Les romarins dans leur ensemble ont une hauteur qui varie de 40 à 200 cm. En moyenne, les placettes en sites fertiles de notre échantillon ont 37 cm de hauteur en plus que les mauvais sites (124 contre 87 cm). Les tailles de formation ont fait perdre respectivement sur les sites mauvais et fertiles de 39 à 55 cm de hauteur (moyenne 47 cm) pour la taille basse, soit 45% de leur hauteur initiale, et de 27 à 39 cm (moyenne 33 cm) pour la taille haute soit 30% de leur taille initiale. On est donc très proche des objectifs initiaux (50 et 30%).

Après la taille, les romarins ont repris quelques centimètres de hauteur dans les deux années de suivi, à peine plus pour la taille basse que pour la taille haute (9 contre 4 cm), l'écart étant un peu plus fort dans les sites fertiles que dans les mauvais sites. Mais la différence entre les fertilités n'est pas significative. Les variations s'expliquent par le mode de rejet du romarin à partir de branches vivantes. Ceux qui ont été taillés haut ont donné lieu à de très nombreux rejets, répartis sur une assez grande longueur de tige, puisque la partie portant des rameaux vivants était plus longue. Se partageant les ressources, ces nombreux rejets étaient en général assez courts, et la plupart partaient d'assez bas sur les tiges donc ne pouvaient pas contribuer à un gain de hauteur par rapport à la hauteur de coupe. Sur les pieds taillés bas, moins de rejets sont apparus, mais en moyenne plus vigoureux, et partant surtout du haut des tiges, donc contribuant plus facilement à gagner de la hauteur par rapport au point de coupe. Chez certains, la taille basse n'a cependant conduit qu'à un très petit nombre de rejets. Au bout de deux ans, la hauteur totale des romarins taillés reste donc en dessous de leur hauteur initiale : -38 et -28% respectivement pour les tailles basse et haute, avec une petite différence non-significative entre sites mauvais (-35%) et fertiles (-32%).

Les romarins non-taillés (témoins) n'ont pas gagné ni perdu significativement de hauteur pendant les années de suivi (-3%), en raison de nombreux dessèchement de cimes, qui ont compensé les quelques gains de hauteur des moins dépérissants, dont les pousses annuelles sont restées très courtes. Ces variations sont dans la fourchette de précision des mesures (cf. photos de la *figure 5*).

Tableau n° 1.a: Hauteur initiale en cm des romarins (2015) et variations de hauteur, en valeurs absolues et en pourcentage, en fonction du traitement et de la fertilité du site. Sauf pour la colonne 2015 (toutes placettes avant traitement), les lignes F et M (sites fertiles et mauvais) ne concernent pour 2016 et 17 et pour les évolutions que les placettes H et B. On peut ainsi comparer l'évolution des sites taillés avec les témoins (ligne T au bas du tableau).

(cm)	H 15	ΔH_{15-16}	ΔH_{16-17}	ΔH_{15-17}	ΔH_{15-16}	ΔH_{15-17}
FB	122.7	-55.3	10.1	-44.7	-45%	-36%
FH	132.3	-38.8	3.9	-35.0	-29%	-26%
FT	118.0	-7.8	1.5	-4.0	-7%	-3%
MB	85.4	-38.8	7.3	-33.5	-45%	-39%
MH	88.2	-27.3	4.1	-27.0	-31%	-31%
MT	88.8	-4.4	5.0	-3.0	-0.05	-3%
	H 15	ΔH_{15-16}	ΔH_{16-17}	ΔH_{15-17}	ΔH_{15-16}	ΔH_{15-17}
F	124.3	-47.1	7.0	-39.8	-38%	-32%
M	87.5	-33.0	5.7	-30.3	-38%	-35%
B	104.0	-47.1	8.7	-39.1	-45%	-38%
H	110.3	-33.1	4.0	-31.0	-30%	-28%
T	103.4	-6.1	3.2	-3.5	-6%	-3%

Tableau n° 1.b: Etat de santé et floraison des romarins en fonction du traitement et de la fertilité du site. Pour 2017, la floraison ne concerne que le printemps, alors que l'état de santé a été noté en deux fois, en mars (pic de floraison) et en octobre (déperissement). Lignes F et M comme pour le tableau T.a

	Q/S 15	Q/S 16	Q/S 17-03	Q/S 17-10	Flo 16	Flo 17
FB	2.57	2.23	2.55	1.30	0.33	2.55
FH	2.73	2.60	2.84	1.35	0.80	2.82
FT	2.49	2.37	2.20	1.03	2.25	2.36
MB	2.44	1.93	2.40	1.35	0.84	2.03
MH	2.57	2.28	2.39	1.49	1.51	2.32
MT	2.76	2.47	1.95	1.45	2.61	1.75
F	2.67	2.42	2.69	1.32	0.57	2.68
M	2.50	2.10	2.39	1.42	1.17	2.18
B	2.63	2.10	2.47	1.32	0.58	2.29
H	2.65	2.44	2.61	1.42	1.16	2.57
T	2.63	2.42	2.07	1.24	2.43	2.05

Tableau n° 1.c : Evolution de l'état de santé et de la floraison en fonction du traitement et de la fertilité du site. Lignes F et M comme pour le tableau T.a

	$\Delta Q/S_{16-15}$	$\Delta Q/S_{17.3-16}$	$\Delta Q/S_{17.10-17.3}$	$\Delta Q/S_{17.3-15}$	$\Delta Q/S_{17.10-15}$	ΔFlo_{16-17}
FB	-0.34	0.31	-1.25	-0.02	-1.29	2.22
FH	-0.12	0.23	-1.49	0.11	-1.38	2.02
FT	-0.12	-0.17	-1.17	-0.29	-1.46	0.11
MB	-0.51	0.48	-1.05	-0.04	-1.11	1.09
MH	-0.29	0.11	-0.90	-0.18	-1.08	0.81
MT	-0.29	-0.52	-0.50	-0.81	-1.43	-0.86
				0.00		
F	-0.23	0.27	-1.37	0.04	-1.33	2.11
M	-0.40	0.29	-0.97	-0.11	-1.09	1.01
B	-0.42	0.39	-1.15	-0.03	-1.20	1.71
H	-0.21	0.17	-1.19	-0.04	-1.23	1.41
T	-0.20	-0.35	-0.84	-0.55	-1.45	-0.38

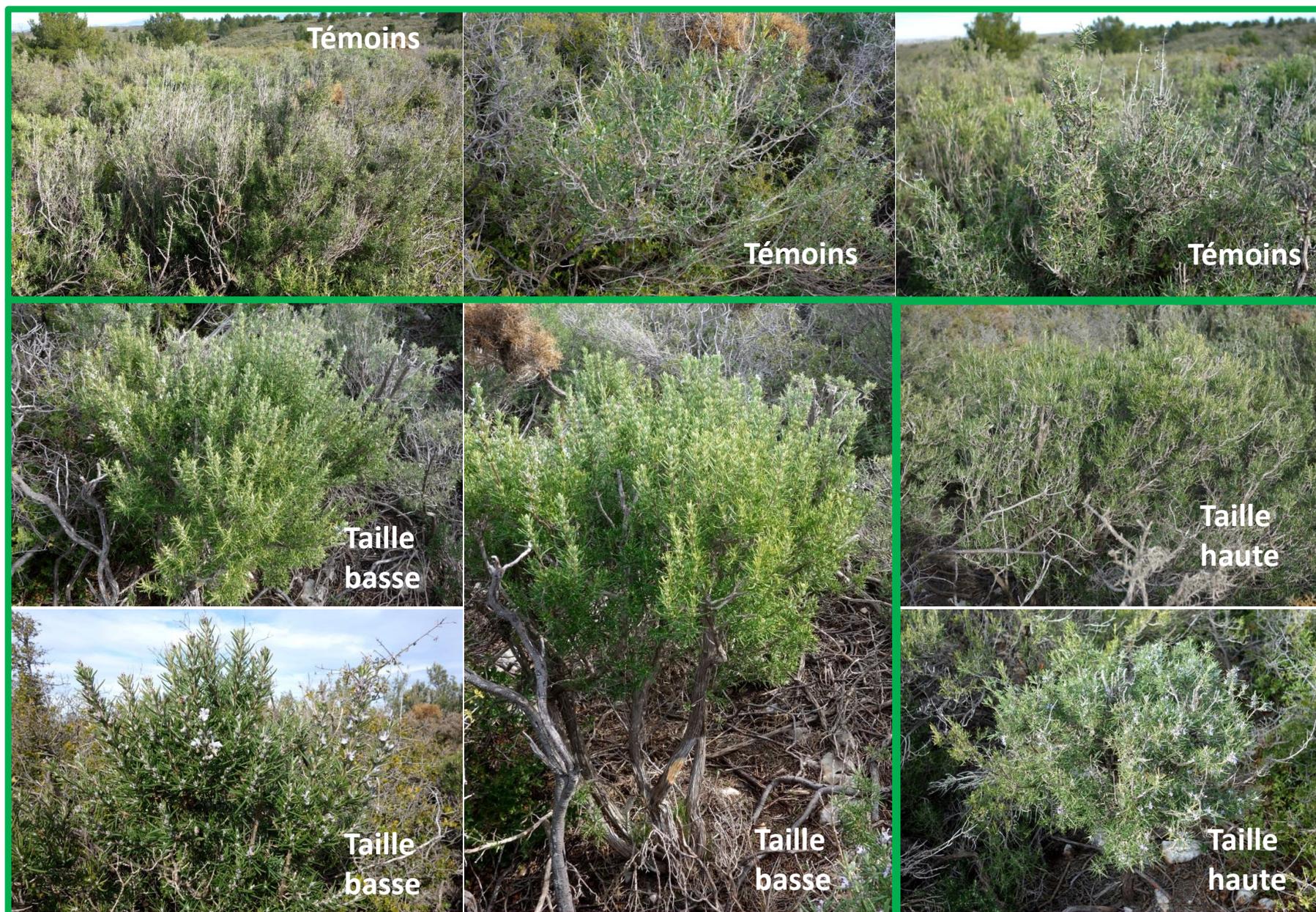


Figure 5 : Etat de santé et rejets des romarins, mars 2017. En haut, témoins (3 photos); en bas à gauche, coupe basse (3 photos); en bas à droite, coupe haute (2 photos)
 Les témoins ont de nombreux rameaux secs, les pousses vivantes de l'année sont très courtes. Les rejets des romarins coupés sont vigoureux et souvent florifères.

3.1.2 Evolution de la santé des romarins

On rappelle ici l'échelle d'état de santé: 0 = mort, 1 = dépérissant, 2 = faible, 3 = moyen, 4 = bon. Des notes intermédiaires (par 0.5 points) étaient permises pour plus de précision : en effet, au sein de romarins à nombreuses tiges, on trouve souvent des parties présentant des niveaux variables d'état de santé. Seuls les notes de 3.5 et 4 témoignent de romarins en bonne à très bonne santé. La note 3 montre déjà des signes de faiblesse, comme une croissance réduite, un feuillage peu dense ou pas franchement vert, ou des rameaux morts.

Avant les traitements en 2015, il n'y avait aucune différence d'état de santé entre les 3 traitements (2.63 à 2.65), ni entre les deux niveaux de fertilité (2.60 contre 2.67). Cette homogénéité cachait des différences à l'échelle des placettes, qui se compensaient entre sites : la mauvaise fertilité sur le site 2 se distinguait par un état un peu meilleur (3.3); la bonne fertilité du site 1 et la mauvaise fertilité du site 3 par un état un peu plus dégradé (2.3 et 2.2). Cet état global de santé plutôt médiocre (*figure 6.a*) reflétait le niveau de faiblesse des garrigues à romarins, puisqu'il était intermédiaire entre le niveau 3 = état moyen et le niveau 2 correspondant à "faible". Seuls 15% des romarins pouvaient être considérés comme en bonne santé (notes 3.5 et 4). Environ 8% d'entre eux était dépérissants (1 à 1.5), et 45% faibles (2 à 2.5). Nous n'avons pas choisi dans l'échantillon initial des pieds mourants (0.5).

Evolution de la santé des témoins (tableaux T.b et T.c)

La *figure 6.b* montre que l'état de santé des garrigues non taillées (témoins, représentatifs du massif dans son ensemble) n'a fait que se dégrader entre 2015 et 2017. L'année 2015 ayant été relativement sèche, on note au printemps 2016 un doublement des dépérissements (classe 1). Si la classe intermédiaire (3) augmente, c'est surtout au détriment des mieux portants (3.5) qui disparaissent quasiment.

Dès le printemps 2017, après l'intense sécheresse de l'été 2016, on voit apparaître des mortalités, encore limitées (3%) mais de nouveau un doublement des dépérissements qui atteignent 28%. Le pourcentage de romarins faibles (classe 2) augmente légèrement. En compensation de la montée des classes 0 à 2, la classe 3 se réduit à moins de 20% et les classes des bien portants disparaissent (<1%). En fin d'été 2017, un quart des romarins est définitivement mort (feuilles entièrement rouges ou toutes tombées) et une moitié est mourante (feuilles entièrement jaunes ou larges parties défoliées). Seul un quart présente encore quelques feuilles verdâtres, au moins sur certaines branches, mais sans grand espoir de survie à court terme. Quelques touffes de romarin bénéficiant de situations très favorables (à la fois sol profond ou fond de vallon et ombrage important par des arbres) ont un peu mieux résisté et peuvent être notés 2.5, avec des chances de survie. Ces survivants potentiels représentent moins de 5% de l'ensemble sur les placettes et leurs alentours. Les moyennement ou bien portants, classes 3 et 4, ont totalement disparu.

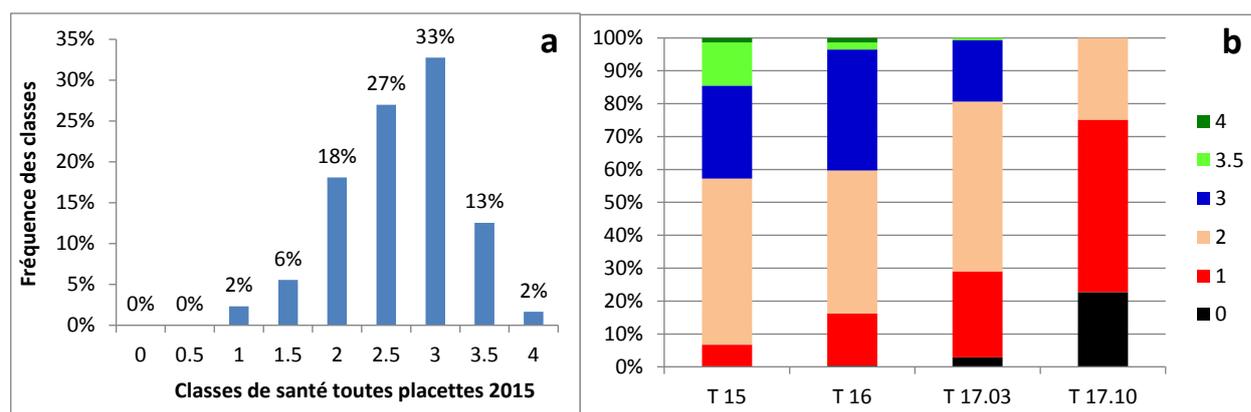


Figure 6 : Fréquence des classes de santé du romarins. a - Fréquences initiales toutes placettes (2015); b - Evolution des fréquences relatives dans le temps pour les témoins (de 2015 à fin 2017).

On ignore à ce stade d'évolution quel sera le taux de survie des romarins présentant des feuilles entièrement jaunes. Un test de la teneur en eau des feuilles et du bois a montré que les rameaux étaient pour partie secs, mais les feuilles étaient encore un peu turgescentes au moment des mesures en octobre. Elles ne s'étaient donc en partie desséchées qu'assez récemment. Il n'est pas impossible que certains rameaux soient restés vivants et puisse rejeter au printemps si les conditions sont favorables. Malheureusement depuis les mesures en octobre, et jusqu'à début décembre 2017, la sécheresse s'est poursuivie ce qui limite les espoirs.

Evolution de la santé, de la qualité et de la floraison des pieds taillés (tableaux T.b et T.c)

La notation des romarins taillés a tenu compte de trois facteurs: la vigueur et la couleur des pousses, et la densité du feuillage reconstitué. La taille des romarins a nettement amélioré leur état de santé : les pousses sont plus longues et plus vertes dans 90% des cas que celles des témoins. Mais elle ne leur a pas toujours permis de reprendre de l'ampleur et une forte densité de feuillage, à cause de la rareté des rejets, notamment sur les coupes basses. Certains ont même eu du mal à rejeter en ne produisant que quelques pousses isolées. Ce manque de feuillage se traduit par une note de qualité/santé qui ne remonte pas voire qui descend.

Dans la réaction à la taille, on note des différences entre niveaux de fertilité et entre niveaux de taille :

* Entre 2015 et 2016, la taille basse a logiquement fait tomber la note deux fois plus fortement que la taille haute. Cette chute a aussi été deux fois plus forte sur mauvais site que sur site fertile, avec un effet plus contrasté sur sites fertiles entre les hauteurs de taille. La taille haute, malgré l'enlèvement d'une quantité importante du feuillage (50 à 60%), n'a pas fait tomber la note plus que celle du témoin sous l'effet de la sécheresse, quelle que soit la fertilité du site. Les rejets ont donc largement compensé la perte de feuillage initial. La taille basse qui a globalement enlevé plus des trois quarts du feuillage, parfois jusqu'à 90% des branchages actifs, a certes fait tomber la note deux fois plus que celle du témoin, mais cela ne représente que 0.34 et 0.51 points, respectivement sur les sites fertiles et mauvais. Dans l'ensemble, la qualité des rejets dans la coupe basse a donc compensé en partie la perte de feuillage initial, mais dans la limite des possibilités des branches restantes.

La floraison des romarins taillés a repris dès 2016, bien que très timidement. Paradoxalement, elle a été plus faible sur les sites fertiles (0.57, ce qui signifie très rares fleurs éparées) que sur les mauvais sites (1.17). Il se peut qu'en raison de la concurrence forte entre romarins et entre les romarins et les autres espèces sur les sites fertiles, et de la hauteur plus importante du couvert, les romarins y aient moins de branches basses vivantes que sur les sites pauvres, donc moins de possibilité de rejets et de floraison la première année après taille. La différence relative de floraison entre sites fertiles et mauvais est similaire pour les deux hauteurs de taille, la taille haute ayant logiquement une floraison un peu plus abondante (+100 à 150%) grâce à la conservation de plus de rameaux anciens.

* Entre 2016 et le printemps 2017, on note une différence d'évolution de la santé entre les deux niveaux de fertilité.

Sur sites fertiles, les deux hauteurs de taille donnent une amélioration du même ordre de grandeur (+0.23 à +0.31), qui contraste avec le témoin (-0.17). Ce différentiel de 0.4 à 0.5 points entre témoin et coupés, montre un effet très favorable des tailles qui ont permis au romarin d'échapper en partie aux effets de la sécheresse très forte de 2016. Les rejets ont continué à se développer et sont restés bien verts.

Sur les mauvais sites, la taille basse a eu un effet positif plus fort que la taille haute (+0.48 contre +0.11) et plus fort que sur le site fertile (+0.48 contre +0.31). Au contraire la taille haute a eu un effet moins positif sur le mauvais site que sur le site fertile (+0.11 contre +0.23). En raison de la très forte sécheresse, plus marquée encore sur le mauvais site par manque de sol, la taille basse qui a fortement limité la surface évaporative a aussi limité le stress. Elle a donc permis la poursuite de la croissance et le maintien en bonne santé du faible nombre de rejets présents. Sur ce mauvais site, les nombreux rejets ont handicapé la taille haute, qui a quand même maintenu une petite croissance et un état de santé correct. En comparaison, le témoin a perdu 0.52 points en mauvais site entre 2016 et 2017, montrant le fort impact de la sécheresse 2017.

Quels que soient la hauteur de taille et le site, la taille a donc eu un effet très positif sur la santé et la croissance des romarins jusqu'au printemps 2017, et d'autant plus positif en effet relatif par rapport au témoin que le site était mauvais. Si on en juge par la note de qualité/santé en valeur absolue (colonne 3 du *tableau 1.b*), les romarins taillés ont retrouvé au printemps 2017 des valeurs très proches de celles de 2015 avant taille (différences de -0.18 à +0.11; colonne 4 du *tableau 1.c*).

Pour les notes de floraison, en 2017, les deux hauteurs de coupe ont dépassé le témoin et sur les deux niveaux de fertilité. Deux saisons de végétation ont suffi pour que la taille, haute ou basse, régénère les romarins et leur redonne une floraison significative. Par rapports aux témoins dont la floraison a stagné sur sites fertiles et fortement diminué sur mauvais sites (-0.86), la taille a permis à la floraison des romarins, en lien avec leur état de santé préservé, de résister aux deux étés secs 2015 et surtout 2016. Par rapport à 2016, les sites fertiles ont beaucoup plus gagné en 2017 que les mauvais sites (+2.06 contre +0.92). Ils ont donc rattrapé leur retard sur les mauvais sites et les ont même légèrement dépassés.

* entre le printemps et l'automne 2017, la santé de tous les romarins taillés s'est fortement dégradée, comme celle des témoins. Ils ont perdu 1.2 points, la baisse étant un peu plus marquée sur les sites fertiles que sur les mauvais sites (-1.37 contre -0.97). En fait, tous les sites taillés sont tombés aux mêmes niveaux de dépérissement avancé, ceux qui se portaient mieux ayant plus perdu en proportion. L'état de santé en automne 2017 a été difficile à évaluer, car comme sur les témoins, il était impossible de dire si les romarins étaient déjà morts, mais pas encore totalement desséchés (feuilles toutes jaunes mais encore un peu turgescentes) ou s'ils avaient une chance de survie.

Il faudra donc attendre le printemps 2018 pour voir si les romarins taillés ont mieux survécu que les témoins, en raison de leur meilleur état de santé initial.

Si on compare la situation sanitaire de 2016 et celle de l'automne 2017 à l'état initial de 2015, on observe une corrélation positive et significative (*figures 7.a, b et c*). Il y a donc une tendance à mieux résister à la sécheresse lorsque les romarins sont mieux portants initialement. Dans les placettes de cette expérimentation, les placettes du site 2 sont en moyenne mieux portantes que celles des sites 1 et 3. Elles sont aussi les plus jeunes, car le feu y est plus récent. Cette relative jeunesse est probablement la cause principale du meilleur état sanitaire initial comme de la meilleure résistance relative.

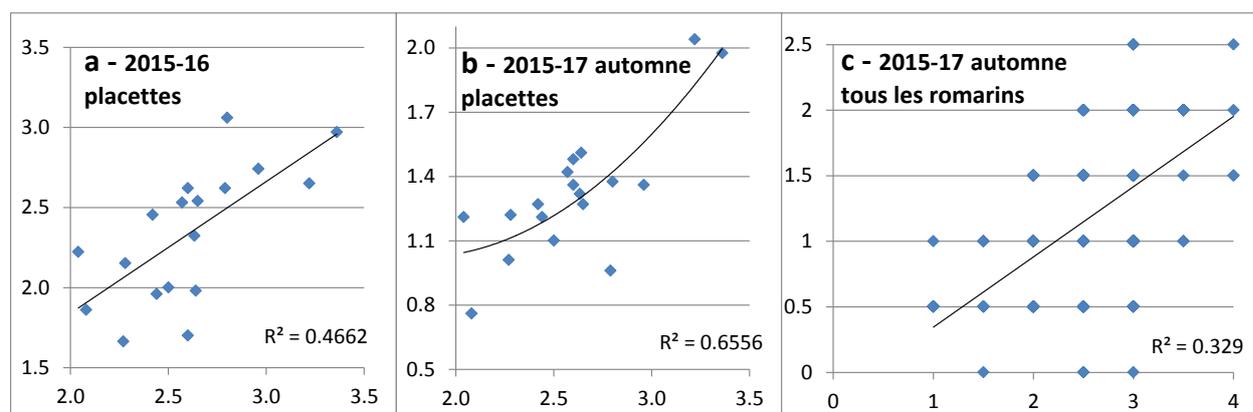


Figure 7 : Relation entre l'état sanitaire initial des placettes en 2015, et leur état en 2016 (7.a), en automne 2017 pour la valeur par placette (7.b) et pour les romarins individuellement (7.c). Dans la figure 7.c, il y a de très nombreux points superposés.

3.2 Evolution générale des garrigues de la côte bleue avec la sécheresse

En 2016 et 2017, des dépérissements se sont produits sur la côte bleue (photos *1 à 6).

En 2016, des tâches disséminées de dépérissement massif et complet de la garrigue ont été observées, sur des surfaces limitées à quelques hectares, principalement sur les sols superficiels et en versants chauds. Ailleurs, ce sont des végétaux dispersés au milieu de la garrigue qui sont morts, la majorité des individus restant vivants, même si l'effet de rougissement pouvait être spectaculaire. Les cistes et l'ajonc étaient les plus touchés. Le romarin a globalement bien résisté, bien qu'il soit mort par endroits plus massivement. Le chêne kermès a été fortement défolié en 2016 par la tordeuse, parfois sur des dizaines d'hectares d'un seul tenant. Ces chênes dénudés n'étaient pas morts. Ils contrastaient en fin d'été avec ceux qui étaient morts de soifs, et dont le feuillage était entièrement brun. Dans l'ensemble, les kermès survivants étaient fortement défoliés. Chez le pin d'Alep, la sécheresse 2016 s'est traduite par des pousses et des aiguilles très courtes. Les adultes ont bien résisté, sans jaunissement marqué.

Il y a eu par contre une mortalité significative chez les plus jeunes. Les chenilles processionnaires ont entièrement défolié certains pins petits ou de taille moyenne. La strate herbacée était presque entièrement desséchée en fin d'été.

En 2017, les dépérissements de garrigue se sont généralisés, touchant toutes les espèces arbustives et herbacées. Seul le pin d'Alep et quelques petits arbres (genévriers, filaires) semblent s'en tirer. Les pins d'Alep ont fait des feuilles 50 à 70% plus courtes que la normale. Au mois d'octobre, les feuilles de romarin étaient jaunes sur plus de 90% des pieds de l'ensemble du massif (*photo 6*). Cependant, elles n'étaient pas partout totalement sèches, gardant un taux d'humidité moyen, montrant qu'elles ne s'étaient pas fanées depuis longtemps. Par contre, les petites tiges de romarin étaient sèches et cassantes, et la sève n'y circulait donc plus. Il faudra attendre le printemps 2017 pour voir si les romarins récemment desséchés rejettent à partir de branches qui seraient restées vivantes. En raison de son état sanitaire

général, il n'y aura quasiment pas de floraison de romarin en 2018. De même les fleurs qui habituellement complètent la ressource en nectar et pollen, notamment les cistes, ne fleuriront sans doute quasiment pas, car ils sont majoritairement morts. En principe, les cistes devraient se régénérer par graines, ou pour certains pourraient rejeter de souche. En pratique, les ressources pour les pollinisateurs vont être extrêmement réduites au printemps 2018 et sans doute quelques années supplémentaires.



Photo 1 : Dépérissements partiel d'un versant en 2016. Le pin d'Alep qui domine le couvert a en partie résisté, mais beaucoup de petits individus sont morts. Les autres végétaux, dont beaucoup de romarins, sont morts ou dépérissants en quasi-totalité.

Photo 2 : Versant de garrigue dominé par le chêne kermès et le romarin, entièrement desséché en fin d'été 2016. Le romarin a perdu ses feuilles, le chêne kermès garde accrochées ses feuilles mortes. Un jeune pin d'Alep au milieu de l'image est également entièrement jaune. Les pins plus âgés sont restés verts. (Photo M. Vennetier)



Photo 3 : Vue rapprochée d'une garrigue dominée par le romarin (recouvrement 60%), presque entièrement sèche fin 2016. Certains romarins gardent quelques feuilles vert-jaunâtre sur une partie des branches, mais sont globalement défoliés à 80%. (Photo M. Vennetier)



Photo n° 4 : Zoom sur un pied mourant de romarin en automne 2016, montrant ses feuilles brunes ou jaunes encore en partie accrochées aux branches. On ignore la capacité de rejet de ses romarins. En arrière-plan d'autres romarins secs.
(Photo M. Vennetier)



Photos n° 5 et 6 : Etat général des feuilles de romarin en automne 2017. Ces deux photos représentent 90% des romarins de la côte bleue en octobre 2017.
(Photos J.M. Lopez)

Le romarin, et beaucoup d'autres espèces de la garrigue, se régénèrent naturellement par graine ou rejet après une forte perturbation mécanique, qui ouvre le couvert. L'incendie est le mode de régénération habituel de de milieu. En cas de non-régénération rapide après la sécheresse, des brûlages dirigés pourraient être envisagés à titre expérimental sur les zones les plus favorables. Le suivi de la zone incendiée très récemment dans le domaine pourrait aussi être instructif, bien que la sécheresse de 2017 risque d'avoir tué de nombreux jeunes semis.

4 Cartographie de la ressource en romarin par télédétection

4.1 Carte satellite

Nous nous sommes appuyés sur une carte de la biomasse de romarin (*Figure 8*) réalisées en 2009 dans le cadre de la thèse d'Annabelle Rivoal (2010) (*Caractérisation des formations arbustives méditerranéennes pour l'amélioration de la prévision de la pollution à l'ozone*). Cette carte provient de l'analyse spectrale de photos satellite, qui a différencié différents types de garrigues: 1. chêne kermès dominant ; 2. ciste blanc dominant ; 3. ajonc de Provence et chêne kermès co-dominants ; 4. romarin et chêne kermès co-dominants ; 5. ciste blanc et chêne kermès co-dominants. Puis l'étude a détaillé pour chaque type de garrigue la biomasse (g/m² de matière sèche) des principales espèces qui la composent, agrégée par pixels de 10x10m.

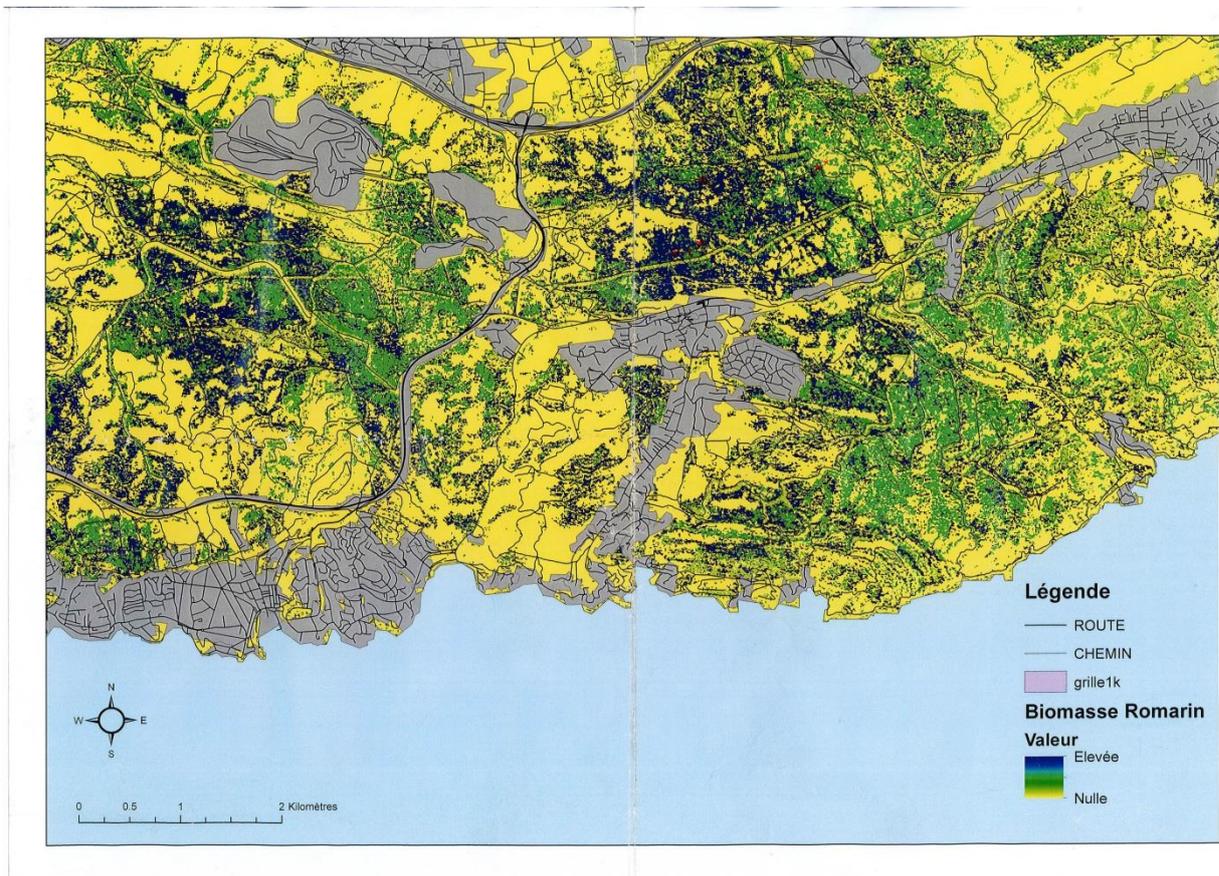


Figure 8 : Biomasse de romarin évaluée par image satellite. Zoom sur le domaine du conservatoire.

Cette carte, si elle était assez précise, permettrait de repérer et cartographier directement les zones plus intéressantes pour la gestion du romarin en vue d'une amélioration ou d'une exploitation. Il ne serait en effet pas intéressant de gérer des pieds de romarins disséminés à faible densité dans une garrigue. La carte présente 4 classes de densité de romarin (en g/m^2): très fort (60-120), fort (20-59) moyen (5-19) ou faible (<5). Seules les deux classes supérieures sont à priori intéressantes pour la gestion. Dans la classification des pixels par analyse spectrale, les garrigues à romarin étaient plutôt bien détectées en moyenne, mais avec un nombre non négligeables de faux positifs (détection de romarin alors qu'il n'y en avait pas sur le terrain: 23% étaient en fait des peuplements dominés par le pin d'Alep et 10% des garrigues à chêne kermès dominant. Il existe donc une suspicion pour que la carte livre des faux positifs, c'est-à-dire des zones où le romarin est détecté par erreur en quantité importante alors qu'il est absent ou rare.

4.2 Points de contrôle

Nous avons réalisé 180 points de contrôle de la carte, à raison de 6 points par site sur 30 sites répartis dans le domaine du conservatoire. Les 30 sites ont été choisis sur la carte satellite pour appartenir chacun de façon majoritaire à l'une des quatre classes de biomasse de romarin (dans des zones assez homogènes), et de façon à ce que l'échantillonnage des 180 points représente de façon équilibrée chacune de ces classes. Les points de contrôle ont été pris en suivant un protocole précis, évitant tout biais lié à la perception des opérateurs sur le terrain: pour chaque site le premier point est tiré aléatoirement dans la zone choisie, à 10 m de sa limite ou de la piste d'accès; puis les points suivants sont pris à 20 m dans une direction choisie à priori pour rester dans la zone, cette direction changeant à angle droit (90°) à l'approche de la limite de la zone. En cas de point non compatible avec les mesures (débranchement, layon, mortalité massive, zone rocheuse étendue, autres dégradations récentes), le point est déplacé dans la direction initiale ou perpendiculairement jusqu'à ce que la limite du point de mesure soit hors de la zone posant problème (figures 9 et 10).

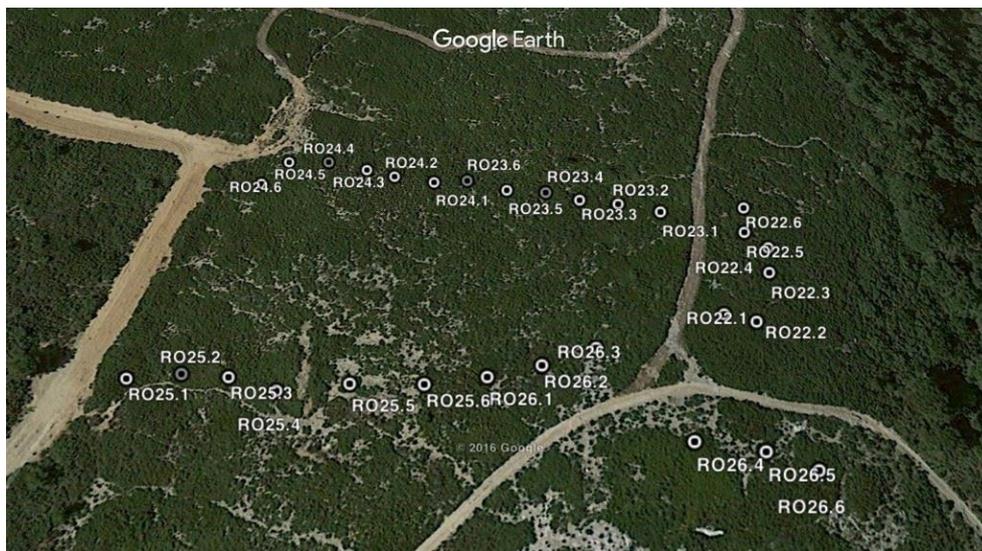


Figure 9 : Exemple de points de vérification sur les sites 23 à 26

Les points de contrôle font 10 m de diamètre pour être en rapport avec les dimensions des pixels de la carte. Sur ces points, nous avons noté le pourcentage de recouvrement et la hauteur moyenne des romarins et des autres espèces dominantes. Chaque point a été repéré au GPS de précision pour être reporté ultérieurement sur la carte satellite de densité de romarin, pour confrontation (figure 10).

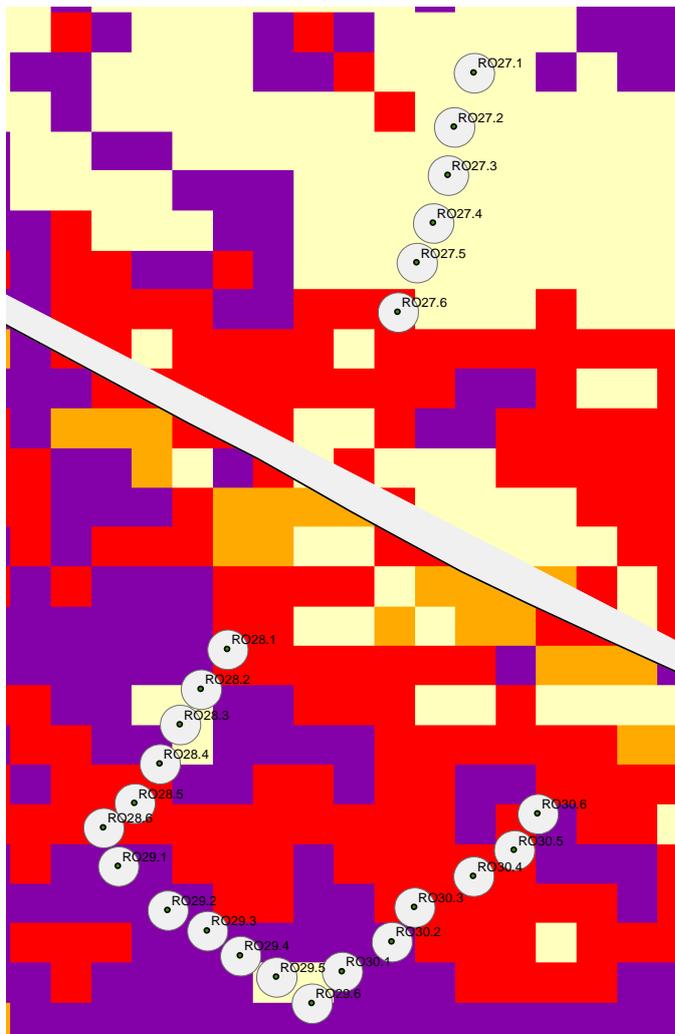


Figure 10 : Positionnement de points de contrôle sur la carte. L'objectif initial était de se positionner majoritairement sur les pixels soit de forte densité de romarin (violet/rouge) d'un côté de la piste, soit de faible densité de l'autre côté (pixels jaunes). La superposition des points et de la carte montre qu'il existe en pratique des décalages, qui peuvent provenir de la position imprécise de certaines des pistes sur la carte. Il y a toujours des pixels de différentes densités intercalés dans les pixels d'une classe donnée. Il n'y a nulle part de grande zones parfaitement homogènes.

Les points de contrôle tombent donc fréquemment à cheval sur plusieurs pixels de différentes classes (figure 10). La densité en romarin estimée par satellite, pour chaque point, a donc été calculée en faisant une moyenne de la valeur des classes concernées pondérée par la surface interceptée de chaque classe. La valeur affectée à chaque classe est juste au milieu de ses limites (<5→2.5; 5-20→12.5; 20-60→40; 60-120→90).

Par exemple sur la figure 10, la densité en romarin du point 28.2 (site 28, point 2) est calculée avec 47.5% en violet, 47.5% en jaune pâle et 5% en rouge:

$$\text{soit } 0.45 \cdot 90 + 0.05 \cdot 40 + 0.25 \cdot 2.5 = 43.6 \text{ g/m}^2.$$

La densité du romarin sur le terrain a été estimée en multipliant la hauteur moyenne (en cm) par le recouvrement (en %). Ces valeurs varient de 0 à 120. Pour les comparer aux valeurs de la densité théorique, on les a divisées par 1.2, pour ramener la variabilité dans les mêmes limites. Cependant, il ne s'agit en aucun cas d'une mesure fiable de la biomasse réelle, mais seulement d'une estimation de densité

de biomasse. Cette densité calculée n'évolue pas forcément de façon linéaire avec la valeur. Elle ne sert qu'à faire des classes de densité croissante. On peut les remplacer fonctionnellement par des numéros de 1 à 5 de la plus faible à la plus forte densité.

4.3 Evaluation des erreurs du classement satellite

La figure 11 montre les correspondances croisées entre les classes de densité de romarin détectées par satellite et les observations de terrain.

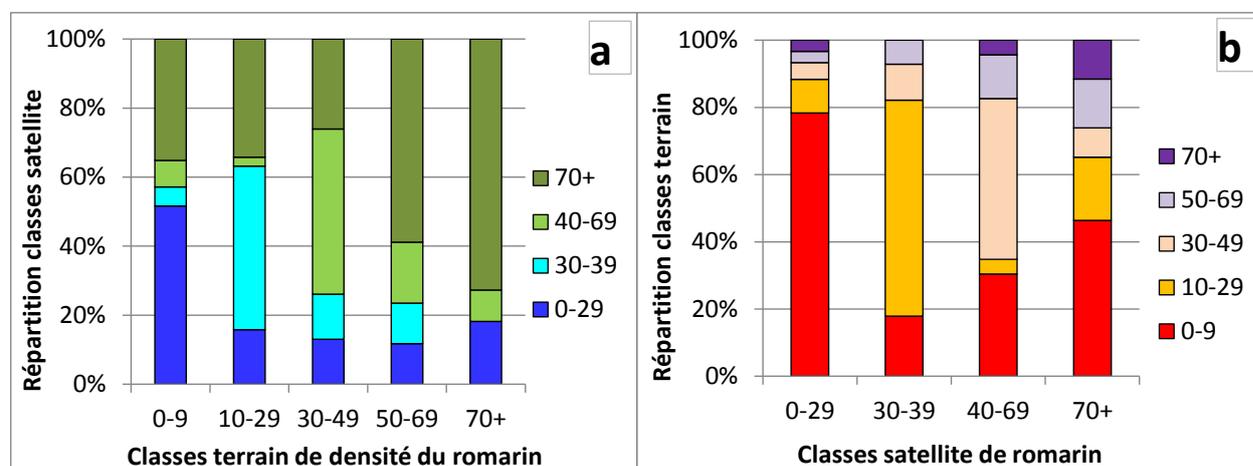


Figure 11:

(a) Répartition des classes satellite de biomasse du romarin (g/m^2 - légende) en pourcentage dans les classes de densité observée sur le terrain;

(b) Répartition des classes de densité réelle dans les classes de biomasse par satellite.

La figure 11.a montre que chaque groupe de biomasse déterminée par satellite a un pic de pourcentage qui correspond bien, dans l'ordre, aux classes de densité réelle sur le terrain. Bleu foncé (0-29) pour 0-9, bleu clair (30-39) pour 10-29, vert clair (40-69) pour 30-49, débordant un peu sur la classe au-dessus, vert foncé (70 et +) pour les deux classes les plus élevées, 40-69 et 70+. Il y a donc un décalage dans les valeurs des classes (prévisible) mais leur ordre est respecté. Les valeurs des classes satellite étant callées sur des mesures réelles de biomasses, on peut penser que les valeurs de densité que nous avons calculées de façon très simplifiée sous-estiment la biomasse réelle pour les valeurs faibles de densité et de hauteur du romarin, et que les valeurs ainsi estimées se rapprochent des valeurs réelles pour les densités les plus élevées. La figure 11.a montre aussi des imprécisions dans le classement :

- un petit nombre de faux négatifs (faibles biomasses détectées par satellite alors qu'il y a des densités élevées sur le terrain). Ils correspondent aux deux groupes bleus (de 0 à $39\text{g}/\text{m}^2$) qui apparaissent dans les classes de terrain à forte densité, où ils représentent 20 à 25% des points de ces classes (en pratique un pourcentage faible du nombre total de points).
- et un nombre plus important de faux positifs (forte biomasse de romarin détectée alors qu'il y a peu de romarin sur le terrain. Ce sont les groupes verts ($>40\text{g}/\text{m}^2$) qui apparaissent dans les classes de faible densité (<20), où ils représentent 35 à 45% de ces classes.

La figure 11.b illustre autrement ces mauvais classements, faux positifs ou négatifs. Elle montre bien que la classes 0-9 de densité de terrain (en rouge), la plus faible, se retrouve en forte proportion dans la classe 70+ du satellite.

En nombre absolu de points dans l'échantillon, la fausse détection de fortes densités apparaît encore plus flagrante (figure 12). Pour la classe satellite 70+, il y a trois fois plus de points dans la classe de terrain 0-9 que dans chacune des deux classes supérieures de densité. Dans cette seule classe 70+, le nombre de faux positifs est de 65%. La classe satellite 40-69 montre aussi des faux positifs dans la classe de densité 0-9 (35%). Les autres classes satellites ont, en nombre absolu, un pic marqué dans la bonne classe de terrain. Il y a très peu de faux négatifs en nombre absolu (2 à 3%, dont 1% seulement de fortement négatifs).

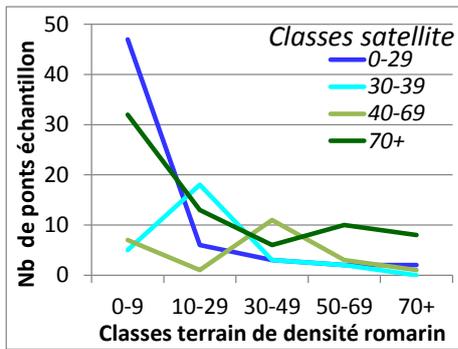


Figure 12 : Répartition en nombre de points échantillons des classes satellite de biomasse de romarin par classe de densité sur le terrain

En résumé, 60% des points de la photo satellite sont bien classés, principalement ceux qui ont des valeurs faibles à moyennes, 28% sont des faux positifs et 2% des faux négatifs. Mais la détection satellite se trompe dans 65% des cas lorsqu'elle classe des points dans les plus fortes biomasses. Par contre, les points ayant de fortes biomasses de romarins sont en grande majorité (80%) bien classés par le satellite. Cela signifie que le classement qui a été utilisé pour analyser la photo satellite détecte correctement les romarins là où il y en a, mais qu'une autre plante abondante ou une combinaison d'autres plantes imite la signature du romarin. Des différences de taux de recouvrement total et de pourcentage de sol nu pourraient interférer également.

4.4 Recherche des causes d'erreur du classement satellite

On a donc recherché la cause de ces mauvais classements : (1) en vérifiant la position des pixels concernés dans la carte, et (2) en comparant les compositions floristiques et les recouvrements totaux des points sur- et sous-évalués à ceux qui l'étaient correctement.

Les faux positifs importants (romarin supposé abondant sur image satellite mais pas ou peu présent sur le terrain) correspondent à deux cas, qui peuvent se conjuguer :

- les pixels supposés à haute densité, où tombent les points de vérification, sont souvent très proches de pixels à très faible densité, disséminés. Les points de contrôle sont fréquemment à cheval sur plusieurs pixels de densités différentes. La taille importante des pixels (10x10m) des images satellite fait que la limite des zones de romarin sur le terrain peut recouper plusieurs pixels. On joue ici sur la limite de définition de l'image satellite, qui produit ce type d'erreur.
- La composition floristique des pixels en faux positif est en partie différente des pixels bien évalués et des pixels en faux négatif (*tableau n°2*) : ils comportent surtout beaucoup plus de ciste de Montpellier en recouvrement moyen (26% au lieu de 6%) et en occurrence (59% au lieu de 36%). Le brachypode y est quasiment absent (recouvrement 0.3% contre 19% dans les bien classés et 25% dans les faux négatifs) et 6 à 8 fois moins fréquent (3% d'occurrence contre 19% et 25%). Bien qu'il soit généralement dominé dans la garrigue dès qu'elle est fermée, et donc qu'il soit en moyenne peu visible du ciel, il n'est pas impossible qu'il joue un rôle dans la réponse spectrale dans des cas spécifiques, quand le milieu est plus ouvert et la garrigue assez claire, éventuellement en conjonction avec le sol nu. Il n'a aucune relation directe entre le recouvrement du brachypode et l'erreur de prédiction. L'ajonc et le pin d'Alep sont légèrement plus couvrant en moyenne dans les faux positifs, mais aussi un peu moins fréquents et moins couvrant que dans les bien évalués, ce qui ne permet pas de conclure sur leur rôle éventuel. Le sol nu est aussi plus fréquent dans les faux positifs que dans les bien classés et les faux négatifs (44% contre 23% et 25%) mais les différences en valeur absolue de surface occupée sont faibles (4% contre 2.4%). En couvert total toutes espèces confondues, il n'y a pas de différence entre faux positifs, faux négatifs et bien évalués.

La *figure 13* illustre la bonne corrélation entre le recouvrement en ciste de Montpellier et l'erreur de prédiction de la photo satellite. Aucune autre espèce n'est corrélée avec cette erreur. Dans l'étude des photos satellites, le ciste de Montpellier n'avait pas été pris en compte, car il est, à l'échelle de la région PACA, beaucoup moins fréquent que le ciste blanc.

C'est l'inverse dans le domaine du conservatoire, et cela peut expliquer ce problème de classement.

Par définition, les faux positifs ont beaucoup moins de romarin en recouvrement (11%), respectivement 3 et 5 fois moins, que les bien évalués (27%) et les faux négatifs (55%).

		Rec-tot	Ro	QC	UP	CM	PA	Br	SN
FN	Moy	145.0	55	57.5	18.75	0	0	7.5	0.25
FN	Occur		100%	100%	100%	0%	0%	25%	25%
BE	moy	129.9	27.3	64.5	12.8	6.3	10.4	7.1	2.5
BE	Occur		97%	100%	81%	38%	37%	19%	23%
FP++	moy	127.2	11.5	60.3	19.1	25.8	8.8	0.3	4.3
FP++	Occur		88%	100%	75%	59%	25%	3%	44%

Tableau 2 : Comparaison des couverts des espèces accompagnatrices, du couvert cumulé (Rec-tot) et du sol nu (SN) suivant l'erreur sur la densité du romarin. Faux négatifs (FN), bien évalués (BE) et faux positifs (FP).

RO = Romarin, QC = chêne kermès, UP = Ulex (ajonc), CM = ciste de Montpellier, pa = pin d'Alep; BR = Brachypode rameux, Le recouvrement total (Rec-tot) est la somme des recouvrements des espèces arbustives et herbacées. Pour FN, BE et FN, la ligne supérieure donne la moyenne des recouvrements réels, en pourcentage de la surface des points de contrôle. La ligne basse donne la fréquence de l'espèce (nombre d'occurrences par rapport à l'ensemble des points de la catégorie).

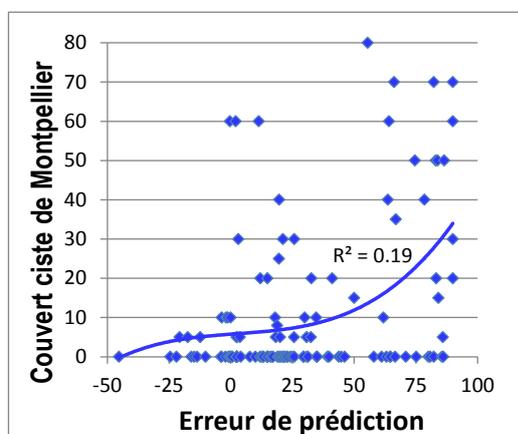


Figure 13 : relation entre couvert du ciste de Montpellier et erreur de prédiction. Les faux positifs correspondent aux valeurs élevées positives de l'erreur de prédiction, à droite du graphique. Les faux négatifs correspondent aux valeurs les plus faibles (négatives) de l'erreur différence à gauche, pour lesquelles il n'y a aucune valeur élevée de ciste de Montpellier.

4.5 Evaluation de la ressource réelle avant dépérissement

A partir de l'image satellite, de son classement par biomasse de romarin et de l'estimation des erreurs, on peut faire une évaluation de la ressource réelle en romarin du domaine du conservatoire sur la Côte Bleue (tableau 3). En raison de la forte proportion de faux positifs sur les plus hautes valeurs de biomasse dans l'image satellite, il n'est pas possible de faire une cartographie précise de cette ressource. Mais l'évaluation quantitative globale est assez fiable.

	Pourcentage des classes dans l'image satellite				total
	< 5gr/m ²	5-19 gr/m ²	20-59 gr/m ²	60-119 gr/m ²	
	55%	10%	14%	22%	
Pourcentage réel des classes après correction des erreurs					
< 5gr/m ²	44%	8%	4%	10%	66%
5-19 gr/m ²	7%	1%	4%	3%	15%
20-59 gr/m ²	2%	1%	4%	4%	10%
60-119 gr/m ²	2%	1%	2%	5%	9%

Tableau 3 : pourcentage des classes de biomasse de romarin dans les zones végétalisées du domaine du conservatoire, d'après l'image satellite, et répartition de ces classes dans les densités réelles en tenant compte des erreurs détectées. Les zones artificialisées ont été éliminées. Le pourcentage des classes sur l'ensemble du domaine se trouve dans la colonne "total" à droite du tableau.

Dans tous les cas, les fortes densités de romarins se trouvent surtout là où la carte les a détectées. En cas de possibilité de valorisation, il serait nécessaire de repérer les zones favorables non seulement en termes de ressource, mais aussi en termes d'exploitabilité: accessibilité, pente, régularité du sol, taille et forme des zones favorables, autres enjeux.

Après correction, 19% du domaine comprennent des densités de romarins compatibles avec une exploitation potentielle de la ressource, ou avec des travaux d'amélioration par rajeunissement, dont seulement 9% ont une forte densité.

Ce travail a été réalisé en 2016, avant le plus gros des dépérissements. Il pourra servir plus tard ou pour d'autres zones non touchées massivement par les dépérissements. En pratique, la ressource en romarin est largement anéantie par les sécheresses de 2016 et 2017. On ne sait pas encore si la ressource va se renouveler, et si oui dans quelles conditions, dans quelle proportion et dans quels délais. Les zones actuelles de forte densité restent celles qui pourraient, si la régénération est bonne, avoir du potentiel dans le futur.

5 Conclusions

Ressource mellifère

Le mauvais état général en 2015 sur la Côte Bleue des romarins, et des garrigues globalement, était la conséquence normale du vieillissement de ces garrigues. Le romarin a une espérance de vie de quelques dizaines d'années dans ces conditions.

Le domaine de la Côte Bleue comptait environ 20% de zones à densité importante à moyenne de romarin. Cette ressource a été évaluée avant les dépérissements massifs observés depuis 2016, à cause de la sécheresse exceptionnelle qui a régné en 2016 et 2017, faisant suite à une année 2015 déjà sèche. Fin 2017, plus de 90% des romarins étaient dans un état sanitaire qui fait douter de leur capacité à rejeter ou survivre. Seul un suivi au printemps 2018 permettra d'évaluer le niveau de survie.

Le romarin n'est pas la seule ressource mellifère de ces garrigues. De nombreuses espèces arbustives et herbacées contribuent à la ressource en nectar et en pollen. L'intérêt de cette diversité est à la fois qualitatif, et temporel. Les floraisons s'étalent de la fin d'hiver à la fin du printemps, et reprennent durant l'automne. L'abondance des cistes est particulièrement intéressante pour le pollen au printemps. Malheureusement, à l'exception de quelques arbres (pin, genévriers, filaires), quasiment toutes les espèces de la garrigue sont dans le même état de dépérissement que le romarin fin 2017, et même pour certaines totalement mortes.

La ressource pour les abeilles domestiques et tous les autres pollinisateurs est donc fortement compromise pour 2018 et probablement pour plusieurs années.

Revitalisation des zones à romarins

Avant les dépérissements de l'été 2017, la taille des romarins a démontré son efficacité pour restaurer cette espèce qui était déjà globalement, en 2015, en mauvais état de santé. Cette taille a permis de régénérer les pieds quel que soit leur état initial, de leur redonner en deux ans un niveau de floraison satisfaisant, de les préserver des sécheresses de 2015 et 2016. La taille élimine la floraison durant 1 an, mais celle-ci reprend abondamment dès la deuxième année, égalant déjà, en moyenne, la floraison des témoins. Une taille plutôt haute, réduisant la hauteur des pieds d'environ 30%, a donné au bout de deux ans les meilleurs résultats. La floraison des pieds taillés bas a cependant progressé plus en deuxième année, rattrapant une partie de son retard. La floraison de troisième année aurait dû être nettement supérieure à celle des témoins. On peut espérer que les pieds taillés, en raison de leur meilleur état de santé début 2017, auront mieux résisté au dépérissement et seront capables de rejeter en 2018.

Suivi des travaux

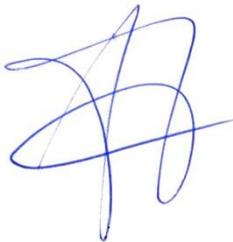
Il semble donc nécessaire de poursuivre le suivi des sites expérimentaux installés durant ce projet. A la fois les placettes de romarin, et les points de contrôle de la carte satellite, pour lesquels la végétation accompagnatrice a été mesurée. On pourra ainsi évaluer la capacité de régénération du romarin et des autres espèces après les dépérissements massifs de 2016-2017.

On devra aussi observer la régénération qui s'est produite derrière l'incendie qui a touché le domaine récemment. La carte satellite réalisée avant le feu, ou une nouvelle analyse améliorée et complétée, pourrait donner une indication sur la végétation préexistante. Il pourrait donner des indications sur l'intérêt éventuel de travaux pour faciliter ou provoquer une régénération qui ne se produirait pas toute seule, comme le brûlage dirigé.

Le Tholonet, le 05/11/2015

Michel Venetier, Fabien Guerra, Roland Estève, Jean Michel Lopez, Christian Travaglini, Philip Roche

Pour l'équipe le coordinateur

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned below the text 'Pour l'équipe le coordinateur'.