

Les carences des feuilles de vigne

On diagnostique le stress des plantes au moyen de faisceaux laser qui les rendent fluorescentes.

Les plantes de votre bac à fleurs se meurent? Arrosage et engrais n'y font plus rien? Il est malheureusement trop tard pour intervenir. Jusqu'à présent, pour diagnostiquer les carences d'une plante, on attendait que les symptômes soient visibles à l'œil nu ou bien on réalisait de longues analyses chimiques. Aujourd'hui, la méthode mise au point par Bernard Cunin et Francine Heisel du Laboratoire de Physique et applications des semi-conducteurs du CNRS, à Strasbourg, permet de diagnostiquer une carence sur des végétaux sur pied en prenant l'image de leur fluorescence au moyen d'un laser. Cette méthode a d'ores et déjà été appliquée sur du maïs, du blé, et des feuilles de vigne.

Par cette méthode, on éclaire la plante analysée par un rayonnement ultraviolet proche. Ce rayonnement est absorbé par les molécules ou par les atomes constitutifs de la plante, les-

quels en réémettent une partie à des longueurs d'onde supérieures, dans le spectre visible. Le rayonnement rouge est dû à la fluorescence de la chlorophylle (elle transforme l'énergie lumineuse en énergie chimique), tandis que le bleu et le vert sont caractéristiques des pigments des cellules épidermiques et des nervures des feuilles. Pour déclencher la fluorescence, on utilise des rayonnements laser parce qu'ils sont assez monochromatiques pour être spécifiques de tel ou tel constituant de la plante.

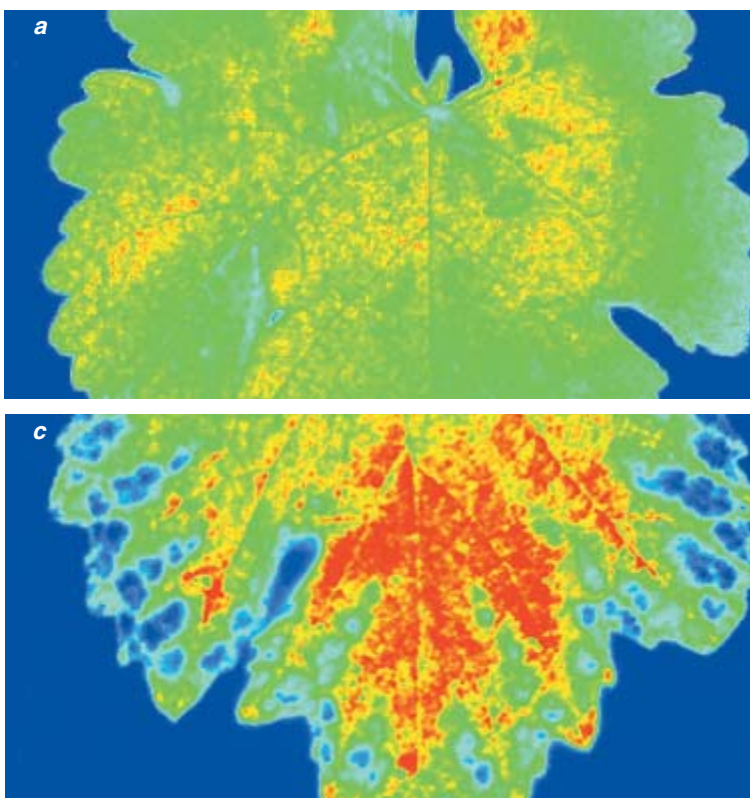
Or, des carences en eau et en sels minéraux modifient la concentration en pigments et en chlorophylle, ou perturbent l'efficacité de la photosynthèse, de sorte qu'elles influent sur le spectre de fluorescence de la plante analysée. En enregistrant et en analysant les images de la fluorescence d'une plante, on détecte si elle a subi un stress nutritionnel ou un déficit hydrique. Les différentes réactions chimiques où interviennent les sels minéraux et l'eau dans le développement de la plante sont connues des biochimistes, mais il leur restait à établir des relations entre les carences et le spectre de fluorescence.

B. Cunin et F. Heisel ont soumis des végétaux, tels du maïs, du blé ou des feuilles de vigne à des ultraviolets proches (UVA), et ont enregistré des

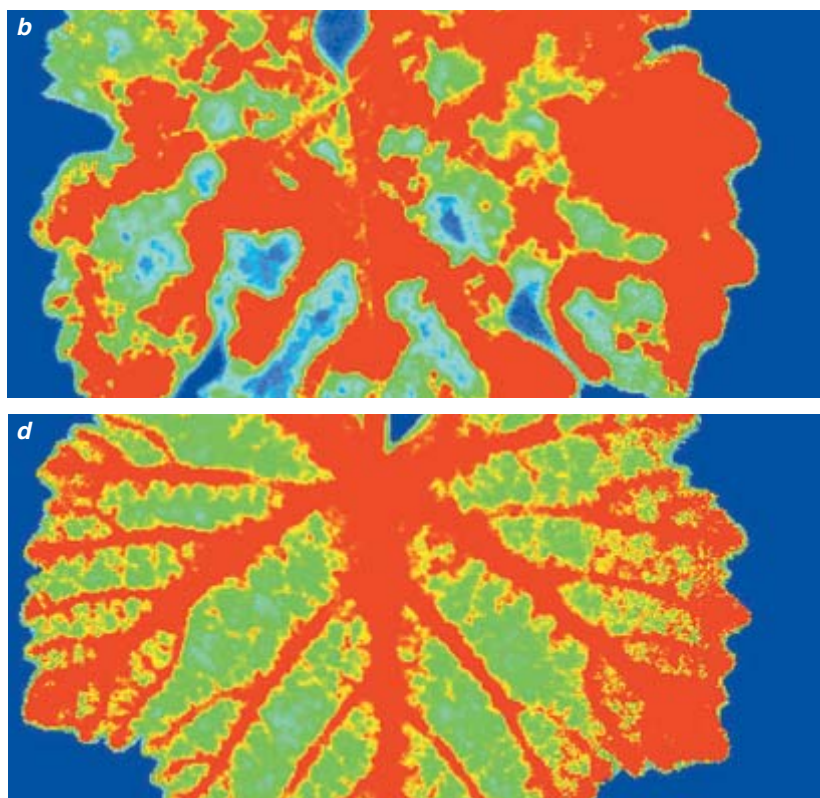
images de fluorescence aux quatre longueurs d'onde caractéristiques de la chlorophylle et des pigments.

Ils ont observé que le stress modifie le spectre et l'image de la fluorescence des feuilles bien avant l'apparition de symptômes visuels. Ainsi, ils ont constaté que, dans le cas du maïs, une carence en sels minéraux entraîne une modification de la fluorescence rouge, et que, dans le cas de la vigne, un stress minéral, par exemple un excès de calcium ou une carence en potassium ou en magnésium, engendre une hétérogénéité caractéristique de l'émission de la chlorophylle. L'imagerie par fluorescence donne ainsi un diagnostic précoce des déficits subis par la plante.

Comparée aux techniques utilisées aujourd'hui par les agriculteurs, le diagnostic par imagerie par fluorescence a l'avantage d'être non destructeur, rapide, et de donner une image complète de la plante. Une camionnette a été aménagée pour transporter le laser et une station de réception, de sorte que l'on mesure sur place les spectres de fluorescence des cultures : on cartographiera l'état physiologique des champs tout entiers. Ainsi, les agriculteurs pourraient suivre régulièrement l'état de leurs plantations et corriger les carences par un apport d'engrais optimal pour les plantes et plus respectueux de l'environnement.



Par fluorescence, on a obtenu des photographies de feuilles de vigne saine (a), carencée en potassium (b), ou en magnésium (c) ou encore souffrant d'un excès de calcium (d). Par cette métho-



de d'analyse des plantes dans les champs, on pourrait prévenir les carences ou les excès avant même que les signes de ces déséquilibres ne soient visibles à l'œil nu.

De l'eau dans l'air

La quantité de vapeur d'eau présente dans la stratosphère aurait augmenté de 75 pour cent en 45 ans et doublé depuis 1980. Des chercheurs de plusieurs pays ont comparé les mesures anciennes de la teneur atmosphérique en vapeur d'eau avec les résultats des mesures récentes faites par des capteurs placés sur des avions de ligne. La décomposition du méthane en dioxyde de carbone et en eau serait responsable de la majeure partie de l'accroissement de la vapeur d'eau atmosphérique.

Le «soi» des dauphins

Les dauphins se reconnaissent dans un miroir, viennent de montrer deux éthologues des Universités de Columbia et d'Emory. Ils ont d'abord tracé des marques sur deux dauphins à l'encre sombre, puis les ont effacées, avant de



les marquer à nouveau avec de l'encre invisible. Dans les deux cas, les dauphins se placent devant le miroir et recherchent les marques sur leur peau. Ils passent un temps plus long à s'observer pour détecter

les traces invisibles qu'ils recherchent que face aux marques apparentes, qu'ils découvrent rapidement. En outre, face au miroir, ils ne manifestent aucune des réactions qu'ils ont habituellement lorsqu'ils rencontrent d'autres dauphins, ce que font la plupart des animaux qui ne se reconnaissent pas dans un miroir. Après les humains et les primates, les dauphins sont la troisième espèce capable de se reconnaître.

Astrologie à l'Université... en Inde

En Inde, la commission des financements universitaires vient de proposer la création de «départements d'astrologie» dotés de cinq postes de professeur, d'une bibliothèque, de laboratoires informatiques et d'une base de données d'horoscopes. Ces départements devraient être opérationnels pour l'année universitaire 2001-2002. Cette mesure est une initiative du ministre de la Recherche et de l'Éducation. Des chercheurs de toutes disciplines se sont mobilisés pour condamner cette tentative de légitimer les «pseudosciences».

Croissant de dune

La dynamique de la croissance des dunes en forme de croissant a été précisée grâce à des simulations sur ordinateur.

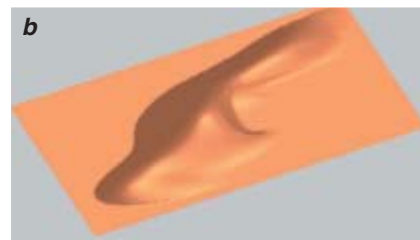
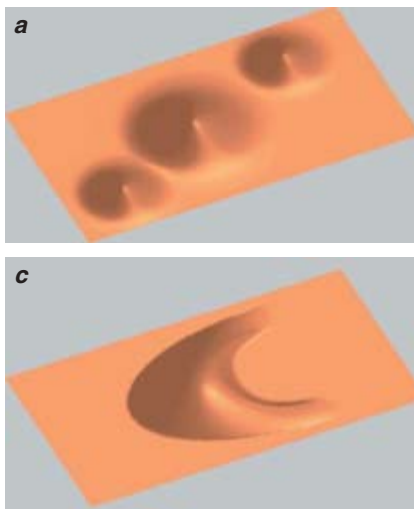
Plus de 100 types de dunes sont répertoriées dans le monde. Les plus simples d'entre elles sont les «barchans», qui prennent une forme de croissant. Elles naissent sur des sols plats rocheux ou parsemés de pierres, où le vent souffle toujours dans la même direction. Elles envahissent certaines régions de la Mauritanie et, à ce jour, les techniques de désensablement restent inefficaces à long terme (sept ans au maximum). Pour les améliorer, les physiciens ont entrepris l'étude de la formation de ces barchans. Afin d'éviter de polluer les souffleries avec des grains de sable, Hans Herrmann et ses collègues du Laboratoire hydrodynamique et mécanique physique de l'École supérieure de physique et chimie de Paris ont créé des dunes virtuelles. Grâce à cette simulation, ils ont découvert des lois qui régissent la dynamique de croissance des barchans.

Le modèle est fondé sur trois paramètres. Il simule le vent qui souffle dans le désert : sa vitesse au sol est constante et elle augmente avec la hauteur de la dune. Une fois la crête dépassée, le vent est dévié et tourbillonne. Le modèle simule aussi le flux des grains de sable qui s'accumulent sur la face exposée au vent, d'après des équations qui rendent compte de la saltation des grains : le vent fait décoller un grain, qui, en atterrissant, éjecte un ou plusieurs grains qui, à leur tour, par ce même mécanisme de saltation, en déplacent d'autres. De l'autre côté de la crête, les

grains dévalent la pente en avalanches. Le troisième paramètre pris en compte, outre le vent et l'écoulement du sable, est le relief du terrain. D'après une topographie initiale et la force du vent, le programme informatique calcule le flux du sable à la surface de la dune, puis la topographie, détermine si des avalanches se sont déclenchées ou non, recalcule la nouvelle topographie si nécessaire, puis la vitesse du vent modifiée par la nouvelle topographie, et ainsi de suite. Ce modèle itératif a révélé les propriétés cachées des barchans. Ainsi, que l'on parte d'un seul ou de plusieurs petits tas de sable (leurs volumes étant égaux), et quelle que soit leur forme, on aboutit à la même barchan finale.

En effet, les dunes se forment à partir d'une irrégularité du terrain, contre laquelle s'accumulent les grains. Contrairement aux gros grains, les plus petits s'envolent. Les dunes se déplacent à une vitesse inversement proportionnelle à leur hauteur : les petites bosses initiales bougent plus vite que les grandes, les rattrapent et coalescent. Elles adoptent une forme de croissant à partir d'une taille minimale d'environ 1,5 mètre, puis continuent à grandir tout en se déplaçant. Selon H. Herrmann et ses collègues, le sable est piégé derrière la dune tant qu'une longueur dite de saturation, qui représente la distance sur laquelle le transport par saltation se met en route, est supérieure à la longueur de la région protégée par la dune de l'action du vent.

L'équipe a aussi montré que toutes les barchans, quelle que soit leur taille, ont une forme qui obéit aux mêmes lois d'échelle. Le modèle a été validé par des mesures effectuées en Maroc et au Brésil. L'étude de la formation d'autres types de dunes et de l'impact des systèmes de lutte contre l'ensablement peut commencer.



Ces dunes virtuelles simulent les «barchans», en forme de croissant, qui naissent sur des sols où le vent souffle toujours dans la même direction. Elles se forment à partir d'un ou de plusieurs tas de sable (a). Elles sont mobiles et se regroupent, car les plus petites sont plus rapides que les grandes (b). Toutes les barchans prennent une taille et une forme identiques (c), quels que soient le nombre et la forme des bosses initiales.

H. Herrmann, LHM, ESPCI

Les carrés perdus de Franklin

Des carrés magiques inconnus sont aujourd'hui encore extraits des œuvres du physicien américain.

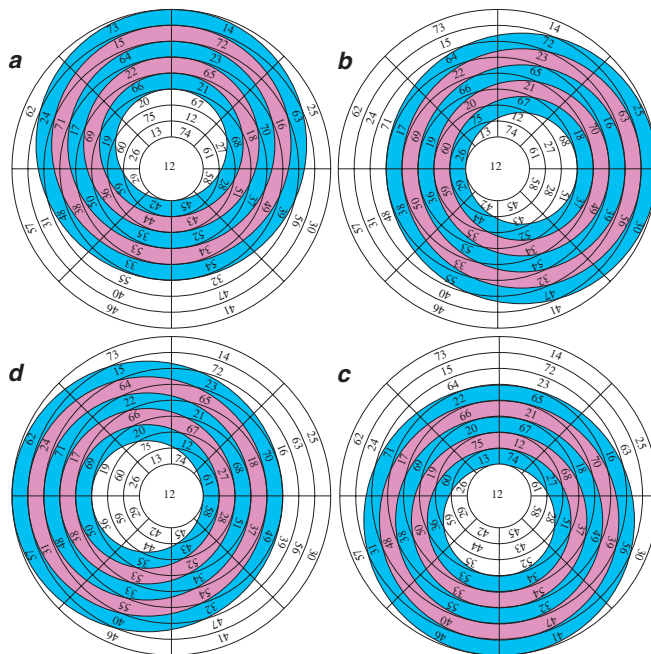
Benjamin Franklin (1706–1790) est célèbre pour être l'un des pères de l'indépendance des États-Unis et le père unique du paratonnerre. En revanche, son attrait pour les mathématiques semblait inexistant. Pourtant, l'étude des *Papiers de Benjamin Franklin* prouve le contraire : Paul Pasles, de l'Université de Villanova, en Pennsylvanie, a retrouvé, dans l'œuvre monumentale du physicien, qu'il s'intéressait aux carrés magiques et aux cercles magiques. Il en avait même construit certains dotés de propriétés rares, dont un qui est resté inédit jusqu'à ce jour.

Un carré magique est une matrice carrée à n colonnes et à n lignes. Les cases sont notées d'un entier naturel compris entre 1 et n^2 , sans répétition. Le carré est demi-magique lorsque seules les sommes des entiers de chaque ligne ou de chaque colonne sont égales à une constante, C , dite magique. Le carré est complètement magique quand les sommes des entiers sur les diagonales sont aussi égales à la constante magique. Un carré est dit magique à la façon de Franklin quand la somme des entiers sur les diagonales coudées est également égale à la constante magique. Une diagonale coudée va jusqu'au centre puis, au lieu de relier le sommet opposé au sommet initial, elle fait un angle de 90 degrés pour rejoindre le sommet adjacent au sommet initial.

L'un des carrés magiques redécouvert est un carré de huit cases de côté (voir la figure 1). Il est demi-magique : c'est là la moindre de ses propriétés ! La somme de chaque demi-rangee ou de chaque demi-colonne est égale à 130, soit la moitié de la constante magique. Ce carré se découpe ainsi en quatre carrés magiques ; la somme des nombres des 32 lignes que Franklin qualifie de «tordues», c'est-à-dire coudées, est aussi égale à la constante magique.

À partir d'un de ses carrés, Franklin a construit un cercle magique qui possède des propriétés remarquables (voir la figure 2) : les sommes de chacun de huit quartiers et celle de chaque anneau, concentrique (en blanc sur la figure) ou décentré (en bleu et en rose sur la figure) sont constantes. De plus, une rotation de 90, de 180 ou de 270 degrés des anneaux colorés laisse intacte cette propriété.

Le carré magique de Franklin qui n'a jamais été publié est un carré de 16 cases de côté (voir la figure 3). La constante magique est ici de 2 056. Tout d'abord, il est magique à la fois entièrement et à la façon de Franklin, car la somme de chaque demi-diagonale (en bleu et en mauve sur la figure 3) est égale à la moitié de la constante magique. La somme de chaque demi-colonne et de chaque demi-ligne est aussi égale à la moitié de la constante magique. La somme



2. Dans ce cercle magique, les sommes de chacun des entiers des huit quartiers de chaque anneau concentrique (en blanc) ou décentré (en bleu et en rose) sont constantes, même si l'on fait tourner les anneaux colorés de 90 (b), de 180 (c) ou de 270 degrés (d).

des nombres de chaque carré de quatre cases (cerné de vert sur la figure 3) est égale au quart de la constante magique : ainsi, la somme des nombres de n'importe quel carré de 16 cases (cerné de rouge sur la figure 3) est égale à la constante magique. Dans ce carré, la somme de chaque ligne tordue de huit cases (sur la figure 3, deux sont en vert et deux en jaune) est égale à la moitié de la constante magique. Enfin, la somme des cases de plusieurs lignes tordues décalées (en rouge sur la figure 3) est aussi égale à 2 056.

Plusieurs mathématiciens ont proposé, sans en être assurés, des méthodes pour construire ce carré. Selon P. Pasles, Franklin aurait utilisé une méthode dérivée de celle de Lo Shu, où les entiers sont placés selon les déplacements d'un cavalier : sur le carré de la figure 3, chaque nombre est éloigné de son prédécesseur ou de son successeur de deux cases dans un sens et de une dans l'autre. De telles figures magiques contredisent le physicien diplomate, qui selon ses propres dires, n'y entendait rien en matière de mathématiques.

52	61	4	13	20	29	36	45
14	3	62	51	46	35	30	19
53	60	5	12	21	28	37	44
11	6	59	54	43	38	27	22
55	58	7	10	23	26	39	42
9	8	57	56	41	40	25	24
50	63	2	15	18	31	34	47
16	1	64	49	48	33	32	17

1. Dans ce carré magique, la constante magique est égale à 260. Chaque carré délimité en blanc est aussi un carré magique. La somme de toute ligne, de toute colonne, de tout rectangle de deux cases sur quatre (entouré de rouge), de toute diagonale ou ligne coudée (en jaune) est égale à 260.

de chaque demi-diagonale (en bleu et en mauve sur la figure 3) est égale à la moitié de la constante magique. La somme de chaque demi-colonne et de chaque demi-ligne est aussi égale à la moitié de la constante magique. La somme

16	255	2	241	14	253	4	243	12	251	6	245	10	249	8	247
1	242	15	256	3	244	13	254	5	246	11	252	7	248	9	250
240	31	226	17	238	29	228	19	236	27	230	21	234	25	232	23
225	18	239	32	227	20	237	30	229	22	235	28	231	24	233	26
223	48	209	34	221	46	211	36	219	44	213	38	217	42	215	40
210	33	224	47	212	35	222	45	214	37	220	43	216	39	218	41
63	208	49	194	61	206	51	196	59	204	53	198	57	202	55	200
50	193	64	207	52	195	62	205	54	197	60	203	56	199	58	201
80	191	66	177	78	189	68	179	76	187	70	181	74	185	72	183
65	178	79	192	67	180	77	190	69	182	75	188	71	184	73	186
176	95	162	81	174	93	164	83	172	91	166	85	170	89	168	87
161	82	175	96	163	84	173	94	165	86	171	92	167	88	169	90
159	112	145	98	157	110	147	100	155	108	149	102	153	106	151	104
146	97	160	111	148	99	158	109	150	101	156	107	152	103	154	105
127	144	113	130	125	142	115	132	123	140	117	134	121	138	119	136
114	129	128	143	116	131	126	141	118	133	124	139	120	135	122	137

3. Ce carré magique de Benjamin Franklin a des propriétés remarquables, décrites dans le texte.