



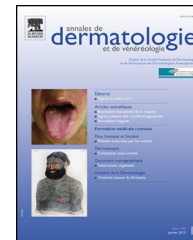
ELSEVIER

Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



MÉMOIRE ORIGINAL

Exposition solaire en milieu scolaire : évaluation du risque (dose érythémale), du bénéfice (synthèse de vitamine D) et des comportements des enfants[☆]



Sun exposure at school: Evaluation of risk (erythema dose), benefits (vitamin-D synthesis) and behaviour among children in France

E. Mahé^{a,*}, M. de Paula Corrêa^{b,c}, I. Vouldoukis^d,
S. Godin-Beekmann^c, M.-L. Sigal^a, A. Beauchet^e

^a Service de dermatologie, centre hospitalier Victor-Dupouy, 69, rue du Lieutenant-Colonel-Prud'hon, 95107 Argenteuil cedex, France

^b Natural Resources Institute, Federal University of Itajubá, Itajubá, Brésil

^c Service d'aéronomie (LATMOS), CNRS, laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales, université de Versailles–Saint-Quentin-en-Yvelines, 78280 Guyancourt, France

^d Inserm, UPMC-UMRS 945, centre hospitalier universitaire de la Pitié-Salpêtrière, 91, boulevard de l'Hôpital, 75634 Paris cedex 13, France

^e Département de santé publique, CHU Ambroise-Paré, Assistance publique–Hôpitaux de Paris, 9, avenue Charles-de-Gaulle, 92104 Boulogne-Billancourt cedex, France

Reçu le 29 mai 2015 ; accepté le 12 février 2016

Disponible sur Internet le 30 mars 2016

MOTS CLÉS

Ultraviolets ;
Vitamine D ;
Enfants ;
Facteurs de risque ;
Indice de confort
cutané

Résumé

Introduction. – Afin de mieux appréhender le risque potentiel lié à l'exposition solaire pendant la période scolaire, nous avons voulu évaluer dans des conditions de vie courante le risque (mesuré par l'indice UV ou IUUV), la dose érythémale minimale (DEM) et le bénéfice (synthèse de vitamine D) de l'exposition solaire d'enfants en primaire, l'impact de l'environnement sur ces données et enfin, les modalités de prévention solaire mises en œuvre pour les enfants.

Matériel et méthodes. – Nous avons réalisé une étude sur une journée ensoleillée (24 juillet) dans une école d'Antony (92). Des mesures de l'IUUV (et les calculs de DEM) et de la quantité de vitamine D synthétisée en fonction de la surface corporelle exposée et des phototypes ont

[☆] Les résultats préliminaires de cette étude ont été présentés lors des Journées dermatologiques de Paris 2014, et lors des 17^{es} Journées nationales de photodermatologie (Angers, 2015).

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : emmanuel.mahe@ch-argenteuil.fr (E. Mahé) .

été réalisées tous les quarts d'heure de 9 à 17 h. Les effets de l'albédo et de l'ombre sur la réduction de l'IUV ont été évalués sur huit points différents au sein de l'école. Les mesures de protection solaire mises en œuvre par les enfants ont été évaluées de façon systématique.

Résultats. — Sur la journée, 57 enfants ont été évalués, l'IUV maximal était de 7,2, la température maximale de 30,7°C. Quels que soient le phototype et les modalités vestimentaires de photoprotection, la DEM était atteinte dès le matin, et la quantité de vitamine D synthétisée par la peau, suffisante avant midi. L'albédo avait peu d'impact sur l'irradiation. L'ombre était de qualité photoprotectrice extrêmement variable, maximale sous le préau (99,5% de réduction de l'IUV) et minimale sous l'ombre de certains bâtiments (jusqu'à 53,7% de réduction de l'IUV). En respectant des conditions strictes de protection solaire, l'enfant atteint une DEM avant de synthétiser suffisamment de vitamine D, alors que l'utilisation de vêtements « adaptés à la température » autorisait une synthèse cutanée de vitamine D suffisante avant d'atteindre une DEM. Il a été observé un faible respect des mesures de photoprotection. Quel que soit le temps d'exposition dans la journée (modèle minimal : deux récréations + pause du midi) et le phototype, le seuil de 1,5 DEM au moins est atteint dans la journée.

Limites. — Il s'agit d'une étude expérimentale ne tenant pas compte du comportement réel des enfants (mobilité, sueur, application de produits de protection solaire...), ni de l'angle d'exposition de la peau au soleil. D'autre part, pour des raisons météorologiques, ce travail a été réalisé en juillet en centre de loisir et non en période scolaire « normale ».

Conclusion. — L'enfant devrait être une cible majeure des campagnes de prévention primaire pour plusieurs raisons liées au risque solaire et à l'apprentissage. Ce travail illustre la complexité du lien entre UV, DEM et vitamine D, et la difficulté à mettre en place des mesures de prévention solaire à l'école.

© 2016 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

Ultraviolet;
Vitamin D;
Children;
Risk factor;
Skin discomfort index

Summary

Background. — To better understand the potential risk associated with sun exposure during the school year, we decided to evaluate behaviour, risk [UV index (UVI), minimal erythema dose (MED)] and benefits (vitamin-D synthesis) of sun exposure in primary schoolchildren in France, as well as the various sun protection methods used for children.

Material and methods. — We performed the study on a sunny day (July 24) in a school in Antony (France). Evaluation of UVI (with calculation of MED) and the amount of vitamin D synthesized according to exposed body surface area and phototype were performed every 15 minutes from 9 a.m. to 5 p.m. The effects of albedo and shade on UVI were assessed in 8 different locations at the school. The sun-protection measures used by the children were systematically evaluated.

Results. — Fifty-seven children were evaluated; the maximum UVI was 7.2 and the maximum temperature was 30.7°C. Irrespective of phototype and clothing, 1 MED was reached and an adequate level of vitamin D was synthesized in the skin before midday. Albedo had little impact on irradiation. The amount of protection afforded by shadow varied greatly, with the highest level occurring in the covered courtyard (99.5% reduction of UVI) and the lowest in the shadow of buildings (53.7% reduction of UVI). With strict sun protection measures concerning dress, children reached 1 MED before synthesizing 1000 IU of vitamin D, but with clothing "suited to high temperatures", 1000 IU of vitamin D were synthesized before 1 MED was reached. Compliance with photoprotection measures was poor. Regardless of duration of exposure during the day (minimal model: two play breaks + lunchtime break) and of skin phototype, at least 1.5 MED was reached during the day.

Study limitations. — This was an experimental study ignoring children's actual behaviour (movement, sweating, application of sun protection products, etc.). Moreover, due to weather conditions, the study was performed at a recreation centre in July and not during the "standard" school year.

Conclusion. — Sun protection campaigns should naturally be directed chiefly towards children for several reasons relating to solar risk and learning. This study shows the complex link between UV, MED, vitamin D as well as the difficulties of implementing solar protection measures in schools in France.

© 2016 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Des programmes d'éducation en santé publique sont introduits dans les écoles dès le primaire. Les axes « prioritaires » se concentrent sur l'éducation alimentaire, l'hygiène bucco-dentaire, la sécurité routière, les addictions et la sexualité. La prévention solaire ne fait pas partie de ces axes en France. Les démarches de formation sont limitées. Plusieurs programmes de formation en prévention solaire sont ou ont été mis en place, dont trois sont à signaler. Le plus avancé et le mieux diffusé est le programme « Vivre avec le Soleil », mené depuis de nombreuses années et décliné dans plusieurs langues. Ce programme a été élaboré par l'association « Sécurité solaire » (<http://www.soleil.info>) en partenariat le ministère de la Santé et l'Organisation mondiale de la santé [1,2]. En 2014, le programme « Brevet Solaire » a été développé par le laboratoire La Roche Posay, en collaboration avec le syndicat national des dermatologues vénéréologues (SNDV). Ce sujet a été aussi la source d'une étude randomisée dans 52 écoles primaires, évaluant l'impact de techniques d'apprentissage (formelle versus numérique) à l'aide du jeu éducatif « Tête Brûlée » [3]. L'évaluation de ces campagnes a montré un impact très limité à long terme sur les connaissances, les comportements, mais aussi sur des marqueurs intermédiaires d'exposition solaire tels que le nombre de nævus acquis [1–4].

La situation est évidemment très différente en Australie, où l'exposition solaire est un problème de santé publique majeur. Dans ce pays, les campagnes sont massives dès l'école, leur impact est évalué, et l'environnement est adapté à une exposition importante dans une population à phototype clair [5–7].

Afin de mieux appréhender le problème de l'exposition solaire pendant la période scolaire, nous avons voulu évaluer dans des conditions de vie courante, sur une journée ensoleillée, le risque – dose érythémale induite par les UV (ultraviolets) – et le bénéfice – synthèse cutanée de vitamine D – de l'exposition solaire d'enfants en primaire et enfin, les modalités de prévention solaire mises en œuvre pour les enfants.

Enfants et méthodes

Ce travail a été mené dans le groupe scolaire André-Pasquier à Antony (Hauts-de-Seine, longitude : 2° 30' W ; latitude : 48° 76' N). La ville d'Antony participe depuis plusieurs années à des programmes de prévention solaire et à des travaux de recherche sur ce sujet (projet « ECRAN » [Écoles et RAYonnement solaire à Antony] ; étude SOLADO – adolescents et pratiques de bronzage artificiel) [8] et nous a ouvert les portes de ses écoles primaires pour ce travail. Les parents et enseignants n'étaient pas informés de cette étude. Seul le directeur avait été informé, au printemps, qu'un travail sur la prévention solaire serait mené un jour donné avec l'accord de la mairie d'Antony. Le directeur a été prévenu la veille de l'intervention que deux évaluateurs (EM et MdPC) allaient venir mener l'étude. Il lui avait été demandé de ne pas informer les enseignants et membres du centre de loisir, afin de ne pas influencer les comportements des parents et enfants.

Une veille météorologique (<http://www.meteofrance.fr>) a été mise en place de mai à juillet 2012 afin d'identifier

des conditions optimales pour l'étude. L'objectif était de mener cette évaluation un jour totalement ensoleillé, indépendamment de la température. Le 24 juillet a été retenu ; les prévisions de Météo France étaient : ciel bleu, température maximale : 30 °C, indice UV (IUV) maximal : 6.

Le travail a été effectué en trois étapes :

- évaluation des mesures de prévention solaire mises en œuvre par les enfants présents au centre de loisir le jour de l'évaluation ;
- évaluation du risque solaire par mesures des IUV tout au long de la journée, afin de pouvoir calculer les doses érythémales reçues en cours de journée ;
- évaluation du bénéfice de l'exposition solaire par calcul de la quantité de vitamine D synthétisée au cours de la journée.

Enfants

Au mois de juillet, les enfants participaient aux activités du centre de loisir, qui ce jour-là étaient délocalisées en raison de la tenue d'« Olympiades des centres de loisirs ». L'évaluation des enfants sur les aspects vestimentaires et l'utilisation des produits de protection solaire a donc été réalisée avant le départ vers cette manifestation, à 9 h le matin. Le questionnaire incluait des données démographiques (âge, sexe, phototype selon la classification de Fitzpatrick) [9], une analyse vestimentaire (membres supérieurs/membres inférieurs/couvre-chef/lunettes) et des données sur l'utilisation de produits de protection solaire et ses modalités ; l'indice de protection solaire n'était pas demandé.

Indice ultraviolet, dose érythémale minimale

L'exposition aux UV a été évaluée en s'appuyant sur la mesure des IUV et calcul des doses érythémales minimales [10]. L'IUV a été mesuré à l'aide du Solarmeter 6.5 (SolarTech, Harrison Twp, MI, États-Unis). Ce capteur a été évalué dans une étude précédente [11] et utilisé dans plusieurs travaux préalables par la même équipe [12,13]. Les calculs d'IUV ont été réalisés de 9 à 17 h tous les quarts d'heure. La mesure était réalisée le capteur à la verticale à 1,60 m du sol.

Plusieurs sites ont été évalués au sein de l'école : des sites ensoleillés du matin au soir (Fig. 1, points B–E) afin d'évaluer l'impact de l'albédo sur l'IUV ; des points ombragés du matin au soir : préau et ombre portée d'un bâtiment (points A et H) afin d'évaluer la qualité relative des ombres ; des zones progressivement ombragées (points C et G) afin d'évaluer l'impact de l'albédo et la qualité de l'ombre apparaissant dans la journée.

Deux types d'exposition ont été évalués : exposition continue de 9 à 17 h (centre de loisir) ; exposition intermittente (activité scolaire « normale »). Dans ce second modèle, il a été proposé comme hypothèse : récréations d'un quart d'heure à 11 et 15 h, et une heure d'exposition à la pause du midi, de 13 à 14 h.

L'effet biologique des UV a été évalué en calculant la dose d'UV érythémale reçue (UVB+UVA dans le spectre érythémal) selon la formule suivante : Dose UV ($J.m^{-2}$) = (IUV / 40) × temps entre 2 mesure d'IUV × 60.

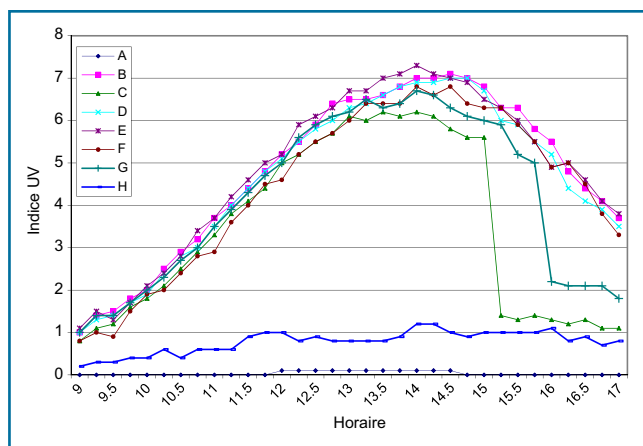


Figure 1. Évaluation de l'indice ultraviolet (IUV) en fonction de différents sites du groupe scolaire André-Pasquier (Antony, 92). Point A : sous le préau ; points B–E : sites ensoleillés du matin au soir ; point H : ombragé du matin au soir sous l'ombre portée d'un bâtiment ; points C et G : points ensoleillés le matin et ombragés (bâtiment) l'après-midi.

La dose érythémale minimale (DEM) est la dose d'UV qui produit chez un individu et sur une surface définie, un érythème juste perceptible (à bords nets) [10]. Elle est pondérée par la sensibilité individuelle aux UV. Nous avons donc calculé le nombre de DEM par jour ou le temps pour atteindre une DEM en fonction du phototype de Fitzpatrick [9] : DEM pour le phototype III : 250 J.m^{-2} ; phototype III : 300 J.m^{-2} ; phototype IV : 450 J.m^{-2} [13,14].

Quantité de vitamine D synthétisée

La quantité de vitamine D synthétisée a été évaluée à l'aide du Solarmeter 6.4 Vit D3 (Solartech, Harrison Twp, MI, États-Unis), sur un seul point, au centre de la cour de l'école (Fig. 1, point B). Ce capteur a été évalué dans une étude précédente [11]. La mesure était réalisée le capteur à la verticale à 1,60 m du sol.

La quantité de vitamine D synthétisée par la peau a été calculée à l'aide du logiciel proposé par la société Solartech sur le site : https://www.solarmeter.com/pdfs/vit_d_utility_x8.xls. Il intègre la surface corporelle exposée (cf. ci-dessous), le phototype selon la classification de Fitzpatrick (l'analyse a porté sur les phototypes II à IV, représentant la majorité des enfants en France métropolitaine) [9], l'âge de l'enfant (hypothèse : 10 ans) et l'utilisation de produits de protection solaire (hypothèse : aucun produit de protection solaire appliqué). La cible de quantité de vitamine D à synthétiser retenue était 1000 UI/j [14–16]. La quantité de vitamine D synthétisée dépend de la surface corporelle exposée aux UV. Le calcul de la surface corporelle a utilisé la formule le plus souvent utilisée par les pédiatres français : surface corporelle (m^2) = $[4 \times \text{poids (kg)} + 7] / [\text{poids (kg)} + 90]$. À 10 ans, la surface corporelle moyenne pour les garçons et les filles est alors de 1 m^2 . Nous avons ensuite étudié deux hypothèses : couverture vestimentaire maximale : manches longues et jambes totalement couvertes, il reste environ 10% (dos des mains + visage) de la surface corporelle exposée aux UV ; couverture vestimentaire minimale :

manches courtes et cuisses et jambes découvertes, il reste environ 46% de la surface corporelle exposée.

Température, hygrométrie, indice de confort cutané

Afin d'évaluer le confort cutané des enfants, la température et l'hygrométrie ont été évaluées à l'ombre (Fig. 1, point A) tous les quarts d'heure de 9 à 17 h à l'aide du thermo-hygromètre digital TFA Dofstman 30.5014.02 (Wertheim, Allemagne). Un « indice de confort cutané » développé au Canada, l'indice Humidex, a été calculé à partir de la température et du taux d'humidité (assimilable au point de rosée) selon la formule suivante : Humidex = température ($^{\circ}\text{C}$) + $0,5555 \times [6,11 \times e^{5417,7530 \times (1/273,16 - 1/\text{point de rosée})}]$.

Si l'Humidex est inférieur à 30, il n'y a aucun inconfort cutané ressentit ; de 30 à 39, un certain inconfort apparaît ; au moins 40, beaucoup d'inconfort ; et au-dessus de 45, il y a un danger de « coup de chaleur » [17,18].

Statistiques

Les valeurs qualitatives ont été exprimées en nombres et pourcentages, les valeurs quantitatives en moyennes et écarts-types (ET). Les comparaisons statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel BiostatGTV (<http://www.marne.u707.jussieu.fr/biostatgv/?module=tests>). Les valeurs qualitatives ont été comparées à l'aide du test de χ^2 (correction de Yates pour les faibles effectifs), les valeurs quantitatives à l'aide du test t de Student. Les différences étaient considérées comme statistiquement significatives pour un p inférieur à 0,05.

Résultats

Enfants et comportements de prévention solaire

Cinquante-sept enfants étaient présents le jour de l'évaluation. Les caractéristiques démographiques sont précisées dans le Tableau 1. Les enfants étaient majoritairement de phototype clair (87,7% de phototypes I à IV).

Un vêtement couvrant était porté par 1,8% des enfants pour les bras (manches longues) et 40,4% pour les jambes (« sous les genoux »). Une casquette était dans le sac pour 45,6% des enfants et moins de 10% avaient des lunettes de soleil. Enfin, un tiers des enfants avait un produit de protection solaire (Tableau 1). Sur ces 19 enfants, 10 avaient eu une application de crème sur les zones découvertes le matin avant de partir, et les autres avaient le tube dans leur sac sans information sur les modalités d'application ultérieure. Il n'y avait pas de différences de comportements en fonction des phototypes (Tableau 1).

Indice UV, effet de l'ombre, doses érythémales minimales

Au cours de la journée, l'IUV maximal était de 7,2. Les courbes des IUV des points « ensoleillés » étaient

Tableau 1 Comportement de protection solaire des 57 enfants présents au centre de loisir le jour de l'évaluation, et données en fonction du phototype^a.

	Tous les enfants	Phototype ^a		
		I–II	III–IV	V–VI
Nombre, n (%)	57 (100)	8 (14,0)	42 (73,7)	7 (12,3)
Âge (ans), moyen ± ET	8,9 ± 1,6	9,9 ± 1,6	8,8 ± 1,6	8,4 ± 1,4
Sexe, garçons/filles	29/28	4/4	21/21	4/3
Vêtement « haut », n (%)				
Sans manche	9 (15,8)	1 (12,5)	7 (16,7)	1 (14,3)
Manches courtes	47 (82,5)	7 (87,5)	34 (81,0)	6 (85,7)
Manches longues	1 (1,8)	0	1 (2,4)	0
Vêtement « bas », n (%)				
Court (jusqu'aux genoux)	34 (59,6)	6 (75,0)	25 (59,5)	3 (42,9)
Long (au-dessous des genoux)	23 (40,4)	2 (25,0)	17 (40,5)	4 (57,1)
Casquette, n (%)	26 (45,6)	4 (50,0)	17 (40,5)	5 (71,4)
Lunettes de soleil, n (%)	5 (8,8)	0	4 (9,5)	1 (14,3)
Utilisation de crème solaire, n (%)	19 (33,3)	3 (37,5)	14 (33,3)	2 (28,6)

ET: écart-type.

^a Selon la classification de Fitzpatrick [9].

superposables tout au long de la journée (Fig. 1). L'effet de l'ombre sur l'IUV était variable. L'IUV était toujours inférieur à 0,2 à l'ombre du préau (point A). Il dépassait 1 sur un tiers des mesures sur l'ombre portée du bâtiment (point H). En comparaison au point B (centre de la cour), cela correspondait à une réduction moyenne de 99,5% (min: 98,1%; max: 100%) de l'IUV au point A, et de 82,6% (min: 76,0%; max: 87,9%) de l'IUV au point H (Fig. 1). L'IUV de l'ombre portée apparaissant au cours de la journée (points C et G) était supérieur à 1 pour toutes les mesures du point C, et à 2 pour quatre mesures sur cinq au point G. En comparaison aux IUV au point B (centre de la cour), cela correspondait à une réduction moyenne de l'IUV pour le point C de 74,8% (min: 70,3%; max: 79,4%); et à une réduction moyenne de l'IUV pour le point G de 53,7% (min: 48,8%; max: 60,0%) (Fig. 1).

Un enfant restant toute la journée en un point ensoleillé était exposé à 5 DEM pour un phototype IV et à 10 DEM pour un phototype II (Fig. 2). La DEM était atteinte dès 10 h 45, 11 h et 11 h 30 pour les phototypes II, III, et IV respectivement (Fig. 2). Un enfant restant sous l'ombre portée du bâtiment (point H) était exposé à plus d'une DEM quel que soit le phototype dès 15 heures (Fig. 2), alors qu'il n'atteignait pas une DEM en restant toute la journée sous le préau (point A) (Fig. 2).

Dans l'hypothèse d'une activité scolaire normale, l'enfant était exposé à 90,0 J.m⁻² lors de la récréation du matin, à 452,2 J.m⁻² le midi et à 141,8 J.m⁻² durant la récréation de l'après-midi. La dose totale d'UV si un enfant restait exposé pendant toute les pauses scolaires était donc de 684,0 J.m⁻², soit 2,7 DEM pour un enfant de phototype II, 2,4 pour un enfant de phototype III et 1,5 pour un enfant de phototype IV.

Température, hygrométrie, indice de confort cutané

La température à l'ombre augmentait de façon quasi linéaire durant la journée, passant de 21,6 à 30,7 °C. Le taux d'humidité diminuait progressivement de 46 à 31%. L'indice de confort cutané Humidex était « confortable » (< 30) jusqu'à 13 h 45. À partir de 14 h, cet indice atteignait le seuil d'inconfort cutané (> 30) (Fig. 3).

Synthèse cutanée de vitamine D

Pour un enfant très bien protégé par ses vêtements (10% de surface cutanée exposée), l'exposition toute la journée permettrait de synthétiser plus de 4000 UI de vitamine D quotidiennement, quel que soit le phototype. La synthèse de 1000 UI de vitamine D serait acquise dès 11 h, 11 h 45 et 12 h 15 respectivement pour les phototypes II, III, et IV (Fig. 4).

Pour un enfant peu protégé par ses vêtements (46% de surface cutanée exposée), l'exposition toute la journée permettrait de synthétiser plus de 15000 UI de vitamine D quotidiennement quel que soit le phototype. La synthèse de 1000 UI de vitamine D serait acquise dès 9 h 45, 10 h et 10 h 15 pour les phototypes II, III, et IV respectivement (Fig. 4).

Ainsi, quels que soient le phototype et l'heure du début de l'exposition, le temps pour atteindre une DEM est inférieur au temps pour synthétiser 1000 UI de vitamine D si l'enfant est couvert (10% de surface cutanée découverte) (Fig. 5); le temps pour atteindre une DEM est supérieur au temps pour synthétiser 1000 UI de vitamine D si l'enfant est peu couvert (46% de surface cutanée découverte) (Fig. 5).

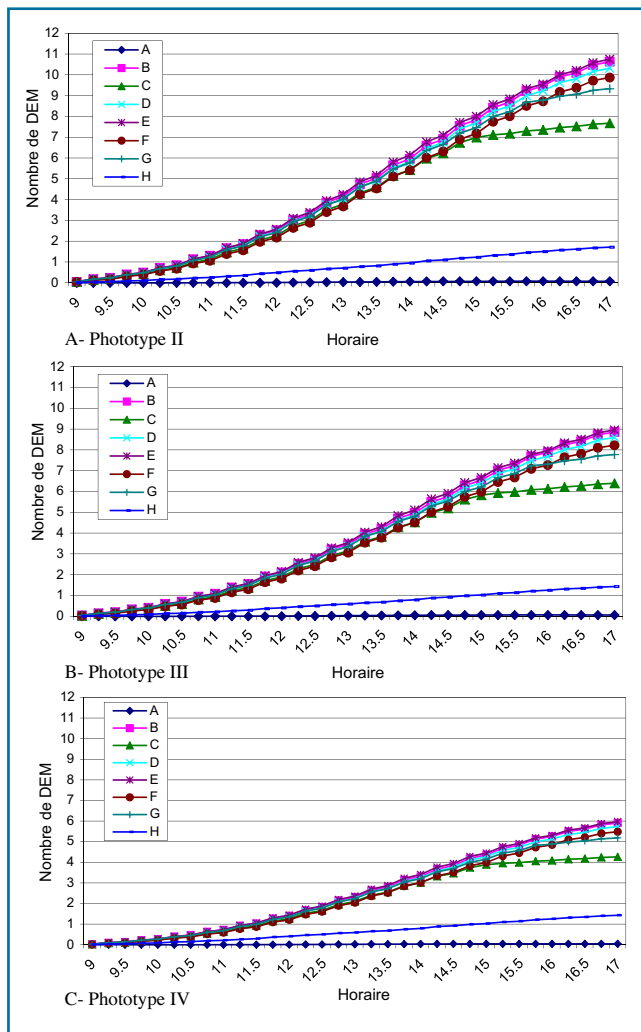


Figure 2. Nombre de doses érythémales minimales (DEM) en fonction du phototype et de la localisation dans l'école (Fig. 1, point A) au cours de la journée. Point A: sous le préau; points B–E: sites ensoleillés du matin au soir; point H: ombragé du matin au soir sous l'ombre portée d'un bâtiment; points C et G: points ensoleillés le matin et ombragés (bâtiment) l'après-midi.

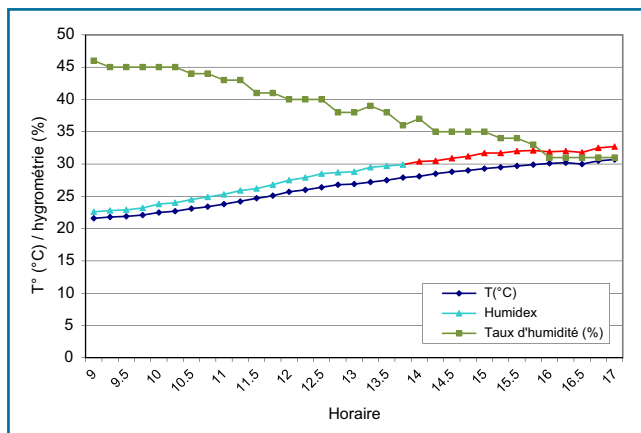


Figure 3. Évolution de la température et de l'hygrométrie en fonction du temps (point A). Humidex: indice de confort cutané intégrant la température et le taux d'humidité. En rouge: inconfort ressenti [30].

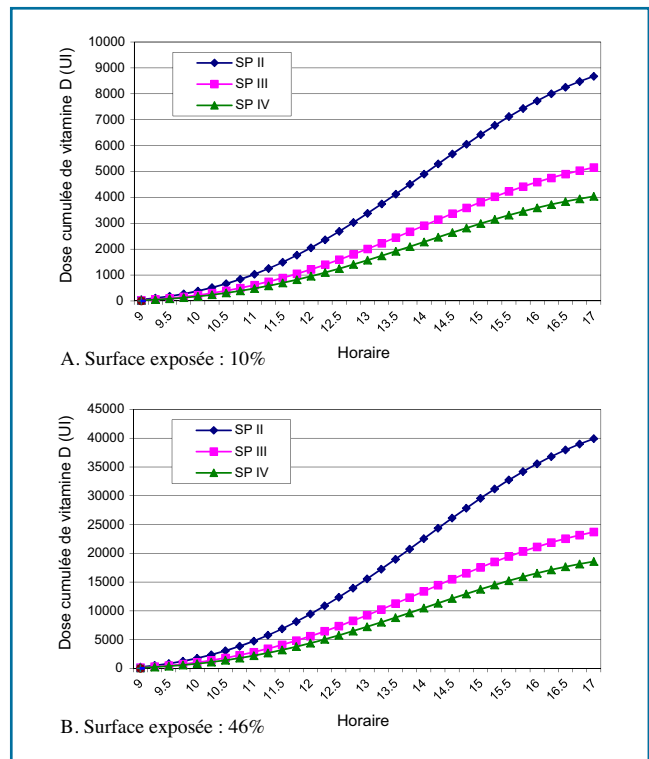


Figure 4. Doses de vitamine D synthétisée si l'enfant est exposé au soleil toute la journée (point B) en fonction du phototype (SP) [9] et de la surface cutanée exposée. A. 10% de surface corporelle exposée. B. 46% de surface corporelle exposée.

Discussion

Ce travail mené «un jour donné» dans une école francilienne a évalué les comportements, les quantités d'UV reçues et l'impact sur la synthèse de vitamine D, mais aussi l'impact de l'environnement architectural sur le risque solaire. Plusieurs points en ressortent :

- les mesures de protection solaire sont faiblement respectées par les enfants [19] ;
- quel que soit le phototype et les modalités de photoprotection, la DEM théorique calculée était atteinte dès le matin, et la quantité de vitamine D théorique calculée par la peau, suffisante avant midi ;
- l'albédo avait peu d'impact sur l'irradiation dans les zones exposées au soleil; par contre, l'ombre était de qualité photoprotectrice extrêmement variable ;
- en respectant des conditions vestimentaires strictes de protection solaire [20], l'enfant atteignait une DEM avant de synthétiser suffisamment de vitamine D; alors que l'utilisation de vêtements «adaptés à la température» autorisait une synthèse cutanée de vitamine D suffisante avant d'atteindre une DEM ;
- enfin, dans des conditions scolaires normales, au moins 1,5DEM était atteinte dans la journée quel que soit le phototype, et justifierait donc des mesures de protection solaire.

Plusieurs limites sont à opposer à ce travail. La première est que nous sommes dans un modèle expérimental, pour lequel il est préférable de parler de DEM et de quantité

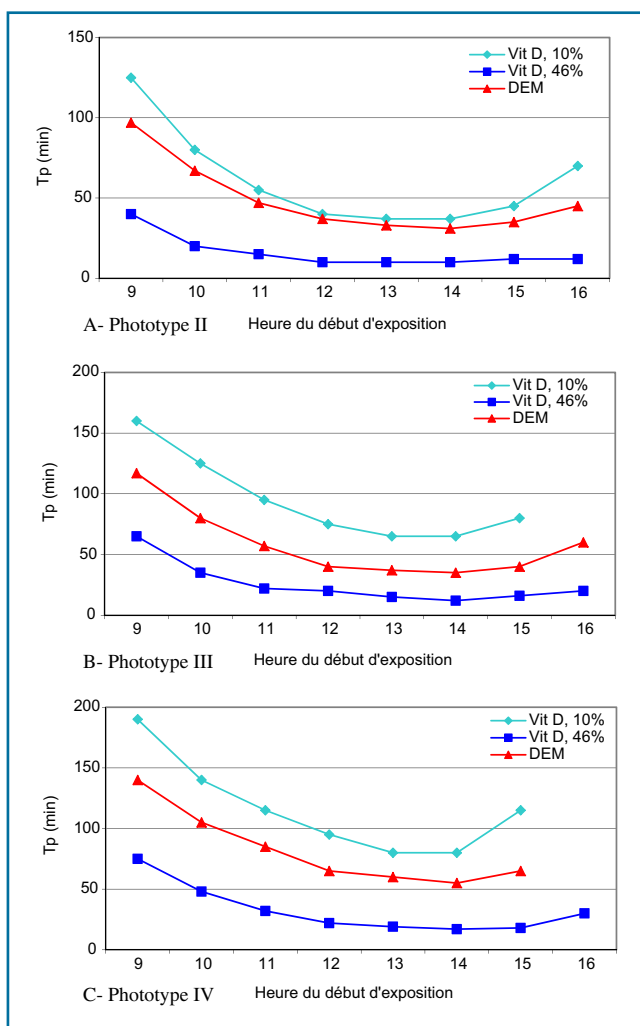


Figure 5. Durée pour atteindre une dose érythémale minimale (DEM) et 1000 UI de vitamine D, en fonction du phototype [9], de la surface corporelle exposée (pour la vitamine D) et de l'heure de début de l'exposition. Mesures réalisées pour l'IUV et la vitamine D au point B (centre de la cour). Vit D, 10% : seuls visage et mains découverts; Vit D, 46% : enfant en manches courtes et membres inférieurs couverts au-dessus des genoux.

de vitamine D théoriques calculées que de mesures biologiques vraies. Plusieurs facteurs peuvent modifier toutes nos mesures : l'angle d'exposition de la peau, inférieur sur le dos des mains, ou sur le bras positionné verticalement, et maximum sur les épaules par exemple, justifierait une pondération des mesures prises à l'horizontale [21,22]. Inversement, la prise à l'horizontale des mesures réduit l'exposition directe solaire car le soleil n'est jamais à la verticale en région parisienne. Les enfants bougent et donc ne seront jamais totalement au soleil ou à l'ombre. Le bronzage éventuel ou l'application de produits de protection solaire vont augmenter la DEM ; à l'inverse l'activité physique et la sudation inhérente, voire l'exposition à l'eau vont réduire la DEM [23–25]. Autre point, nous n'avons pas suivi les enfants toute la journée et ne pouvons savoir si certains enfants ont modifié leur tenue au cours de la journée ou ont appliqué des produits de protection solaire.

Nous avons réalisé l'étude fin juillet du fait de conditions météorologiques « médiocres » au printemps 2012 en Île-de-France. L'exposition aux UV est liée directement à l'angle solaire, lui-même dépendant de la latitude, du jour de l'année et de l'heure de la journée. Il est maximal dans l'hémisphère nord au solstice d'été, soit le 21 juin. Les conditions d'exposition sont comparables le 24 juillet et le 19 mai, et sont en relatif plateau autour du solstice. Nos analyses sont donc sensiblement extrapolables de mi-mai à début août. D'autre part, l'IUV dans toute la France est relativement homogène. L'IUV max est de 7 dans le nord à 9 dans le sud en ciel clair (données Météo France). Aussi, les données UV relevées dans ce travail sont-elles sensiblement extrapolables sur 3 à 4 mois autour du solstice d'été et sur toute la France.

Ce travail illustre la complexité de la prévention solaire en milieu scolaire. L'ombre est parfois absente ou de faible efficacité ; le rapport : atteinte d'une DEM/synthèse de vitamine D est complexe et le strict respect des mesures de prévention solaire s'opposerait à une synthèse cutanée suffisante de vitamine D ; l'utilisation des produits de protection solaire est délicate, qu'ils soient appliqués le matin trop tôt avant l'école, ou posés dans le sac sans contrôle des applications ultérieures. Le système scolaire n'est pas adapté à la prévention solaire en France. Les préaux sont destinés à protéger de la pluie, non du soleil. Il a aussi été signalé l'interdiction d'appliquer des produits de protection solaire sur la peau d'un enfant, pour différents motifs présentés par les enseignants et éducateurs : échanges de crèmes entre enfants et risques d'allergies méconnues, et en arrière-pensée le caractère « sexuel » de l'application de crèmes sur la peau des enfants.

L'effet photoprotecteur de l'ombre est non négligeable, mais incomplet et variable en fonction des types d'ombre. Cela est bien connu pour l'effet modéré de l'ombre des parasols ou des arbres [26–32]. Récemment, notre équipe a aussi montré que l'effet de l'ombre portée des bâtiments parisiens était variable [13]. Ceci a été confirmé par ce travail. Si l'effet est très positif au milieu d'un préau, l'ombre portée des bâtiments est beaucoup plus médiocre, expliqué par la réflexion des UV par les autres bâtiments. L'effet protecteur de l'ombre de ces bâtiments peut être évalué par l'« UV Protection Factor » (UPF) : $UPF = 100 / (100 - \% \text{ réduction de l'IUV})$, équivalent de l'indice de protection solaire (IPS) pour les produits de protection solaire. L'UPF moyen serait de 200 sous le préau, alors qu'il serait entre 2 et 6 pour les ombres des bâtiments. Ces ombres, en « équivalent produit de protection solaire » auraient le statut d'UPF de « très haute protection » pour l'ombre du préau, de « protection faible » pour toutes les autres ombres [33].

La température à l'ombre est un paramètre important mais insatisfaisant pour évaluer le ressenti de la température. Le grand public – dont font aussi partie les médecins – associe intuitivement la température extérieure au risque solaire [34,35]. C'est pourquoi nous avons étudié la température extérieure et la température ressentie. Ces résultats confirment l'absence de lien entre température extérieure et IUV. La température ressentie tient compte d'autres facteurs, principalement dans les températures chaudes du taux d'humidité, et dans les températures froides du vent. Afin de mieux évaluer l'impact de ses

différents paramètres, les physiciens ont validé différents « indices de confort cutané » adaptés aux températures froides ou élevées tels que l'Humidex, le Heat Stress Index, le Wet Bulb Globe Temperature, ou le Thom's Discomfort Index... [17,18,36,37]. Plus récemment, un indice « universel », le « Universal Thermal Climate Index (UTCI) », a été élaboré par la Société internationale de biométéorologie (ISB). Son utilisation en pratique n'est pas encore claire et les paramètres à intégrer complexes [38]. Nous avons opté pour l'Humidex, simple d'utilisation et validé dans les températures élevées. Dès 14 h, la température ressentie le jour de l'évaluation induisait un inconfort cutané. Ce point peut être considéré comme un « message d'alerte » pour le sujet, mais n'est probablement valable que pour les hautes températures. Cette absence d'alerte cutanée pourrait favoriser une exposition inadaptée des enfants dans la moitié nord de la France, alors qu'elle pourrait inciter à une protection dans le sud, à IUV sensiblement équivalents.

La vitamine D est indispensable pour le développement et le maintien d'une bonne qualité du squelette. La synthèse cutanée de vitamine D dépend de la quantité d'UV irradiant la peau, du phototype, de l'utilisation de produits de protection solaire et de la surface cutanée atteinte, mais surtout de la saison et la latitude, qui conditionnent la teneur en UVB du spectre solaire, et de la capacité de l'épiderme à synthétiser la vitamine D (capacité qui décroît avec le vieillissement). Enfin, l'alimentation peut aussi jouer un rôle non négligeable sur les taux de vitamine D chez les enfants [15]. Certains professionnels tels que rhumatologues, épidémiologistes [39] et « commerçants d'UV » insistent sur le fait qu'une prévention solaire « dermatologique » pourrait être source de complications ostéoarticulaires chez la personne âgée. Alors que la DEM, à quantité d'UV équivalente, sur un phototype et dans des conditions d'exposition et de prévention données, va dépendre du temps d'exposition, la quantité de vitamine D synthétisée va dépendre du temps d'exposition mais aussi de la surface cutanée exposée. Nos données confirment qu'une protection solaire « maximale » ne permet pas une synthèse suffisante de vitamine D via le tégument [16,22]. En effet, dans des conditions maximales de prévention, le temps pour atteindre une DEM est très inférieur à celui pour synthétiser 1000 UI de vitamine D, dose recommandée par l'OMS [15–17]. En résumé, selon ce modèle, un enfant très protégé pourrait être carencé en vitamine D s'il s'exposait même de façon prolongée (temps < 1 DEM). Le bon compromis à nos latitudes serait probablement d'avoir les avant-bras ou les jambes découverts.

L'enfant devrait être une cible des campagnes de prévention primaire en milieu scolaire. À partir de calculs théoriques de DEM et de vitamine D, ce travail montre la complexité d'une prévention solaire optimale sans prendre de risque sur la synthèse cutanée de vitamine D.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la Mairie d'Antony (92), le service communal d'hygiène et de santé, et la Direction du groupe scolaire André-Pasquier qui nous ont ouvert les portes de l'école.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Sancho-Garnier H, Pereira B, Césarini P. A cluster randomized trial to evaluate a health education programme "Living with Sun at School". *Int J Environ Res Public Health* 2012;9:2345–61.
- [2] Quéreux G, Nguyen JM, Volteau C, Dréno B. Prospective trial on a school-based skin cancer prevention project. *Eur J Cancer Prev* 2009;18:133–44.
- [3] Bruant S, Beauchet A, Mahé EP, Saiag P, Aegerter P. « Tête brûlée » : résultats d'un essai randomisé de prévention primaire du mélanome dans les écoles primaires, Boulogne, France, 2010 (Abstract). *Rev Epidemiol Sante Publique* 2010;58:S82.
- [4] Wollina U, Helm C, Bennewitz A, Koch R, Schaff K, Burroni M. Interventional three-year longitudinal study of melanocytic naevus development in pre-school children in Dresden, Saxony. *Acta Derm Venereol* 2014;94:63–6.
- [5] Dobbinson S, Jansen K, McLeod K, White V, Wakefield M, White V, et al. Maximising students' use of purpose-built shade in secondary schools: quantitative and qualitative results of a built-environment intervention. *Health Place* 2014;26:136–42.
- [6] Dobbinson SJ, White V, Wakefield MA, Jansen KM, White V, Livingston PM, et al. Adolescents' use of purpose built shade in secondary schools: cluster randomised controlled trial. *BMJ* 2009;338:b95.
- [7] Turner D, Harrison SL, Buettner P, Nowak M. Does being a "SunSmart School" influence hat-wearing compliance? An ecological study of hat-wearing rates at Australian primary schools in a region of high sun exposure. *Prev Med* 2014;60:107–14.
- [8] Tella E, Beauchet A, Vouldoukis I, Séi JF, Beaulieu P, Sigal ML, et al. French teenagers and artificial tanning. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2013;27:e428–32.
- [9] Fitzpatrick TB. The validity and practicality of sun-reactive skin types I through VI. *Arch Dermatol* 1988;124:869–71.
- [10] Afsse Working Group. Ultraviolets État des connaissances sur l'exposition et les risques sanitaires; 2005. p. 1–144 [Disponible à: http://www.invs.sante.fr/publications/2005/uv/rapport_uv.pdf].
- [11] De Paula Corrêa M, Godin-Beekmann S, Haeffelin M, Brogniez C, Verschaevé F, Saiag P, et al. Comparison between UV index measurements performed by research-grade and consumer-products instruments. *Photochem Photobiol Sci* 2010;9:459–63.
- [12] Mahé E, Beauchet A, de Paola Corrêa M, Godin-Beekmann S, Haeffelin M, Bruant S, et al. Outdoor sports and risk of UV radiation-related skin lesions in children: evaluation of risks, and prevention. *Br J Dermatol* 2011;165:360–7.
- [13] Mahé E, Corrêa MDP, Godin-Beekmann S, Haeffelin M, Jégou F, Saiag P, et al. Evaluation of tourists' UV exposure in Paris. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2013;27:e294–304.
- [14] McKenzie RL, Liley JB, Björn LO. UV radiation: balancing risks and benefits. *Photochem Photobiol* 2009;85:88–98.
- [15] Engelsen O. The relationship between ultraviolet radiation exposure and vitamin D status. *Nutrients* 2010;2:482–95.
- [16] Webb AR, Engelsen O. Ultraviolet exposure scenarios: risks of erythema from recommendations on cutaneous vitamin D synthesis. *Adv Exp Med Biol* 2014;810:406–22.
- [17] Masterton JM, Richardson FA. Humidex: a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. *Ministère de l'Environnement du Canada; 1979. p. 1–45.*

- [18] Orosa JA, Costa AM, Rodríguez-Fernández A, Roshan G. Effect of climate change on outdoor thermal comfort in humid climates. *J Environ Health Sci Eng* 2014;11:46.
- [19] Adamski H, Stalder JF. Modalités pratiques de photoprotection de l'enfant. *Ann Dermatol Venereol* 2007;5:86–7.
- [20] Mahé E, Longvert C, Saiag P. Modalités pratiques de photoprotection maximale de l'enfant. *Ann Dermatol Venereol* 2007;134 [4588–91].
- [21] Downs N, Parisi A. Patterns in the received facial UV exposure of school children measured at a subtropical latitude. *Photochem Photobiol* 2008;84:90–100.
- [22] McKenzie RL, Paulin KJ, Kotkamp M. Erythematous UV irradiances at Lauder, New Zealand: relationship between horizontal and normal incidence. *Photochem Photobiol* 1997;66:683–9.
- [23] Moehrle M, Koehle W, Dietz K, Lischka G. Reduction of minimal erythema dose by sweating. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 2000;16:260–2.
- [24] Boer J, Schothorst AA, Boom B, Hermans J, Suurmond D. Influence of water and salt solutions on UVB irradiation of normal skin and psoriasis. *Arch Dermatol Res* 1982;273:247–9.
- [25] Owens DW, Knox JM, Hudson HT, Troll D. Influence of humidity on ultraviolet injury. *J Invest Dermatol* 1975;64:250–2.
- [26] Turnbull DJ, Parisi AV. Spectral UV in public shade settings. *J Photochem Photobiol B* 2003;69:13–9.
- [27] Gies P, Mackay C. Measurements of the solar UVR protection provided by shade structures in New Zealand primary schools. *Photochem Photobiol* 2004;80:334–9.
- [28] Utrillas MP, Martínez-Lozano JA, Nunez M. Ultraviolet radiation protection by a beach umbrella. *Photochem Photobiol* 2010;86:449–56.
- [29] Grifoni D, Carreras G, Sabatini F, Zipoli G. UV hazard on a summer's day under Mediterranean conditions, and the protective role of a beach umbrella. *Int J Biometeorol* 2005;50:75–82.
- [30] Turnbull DJ, Parisi AV. Effective shade structures. *Med J Aust* 2006;184:13–5.
- [31] Grant RH, Heister GM. Multi-waveband solar irradiance on tree-shaded vertical and horizontal surfaces: cloud-free and partly cloudy skies. *Photochem Photobiol* 2001;73:24–31.
- [32] Parisi AV, Kimlin MG, Turnbull D. Spectral shade ratios on horizontal and sun normal surfaces for single trees and relatively cloud free sky. *J Photochem Photobiol B* 2001;65:151–6.
- [33] Verheugen G. Commission recommendation of 22 September 2006 on the efficacy of sunscreen products and the claims made relating thereto (notified under document number C(2006) 4089). Official Journal of the European Union 2006;265:39–45 [Disponible à: URL <http://www.eur-lex.europa.eu/LexUri-Serv/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:265:0039:0043:EN:PDF>].
- [34] Sin C, Beauchet A, Marchal A, Sigal ML, Mahé E. Compréhension et utilisation de l'indice universel de rayonnement solaire (indice ultraviolet) par les dermatologues. *Ann Dermatol Venereol* 2013;140:15–20.
- [35] Isvy A, Beauchet A, Saiag P, Mahé E. Medical students and sun prevention: knowledge and behaviours in France. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2013;27:e247–51.
- [36] Katsouyanni K, Pantazopoulou A, Touloumi G, Tselepidaki I, Moustris K, Asimakopoulos D, et al. Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality. *Arch Environ Health* 1993;48:235–42.
- [37] Gaspar AR, Quintela DA. Physical modelling of globe and natural wet bulb temperatures to predict WBGT heat stress index in outdoor environments. *Int J Biometeorol* 2009;53:221–30.
- [38] Pappenberger F, Jendritzky G, Staiger H, Dutra E, Di Giuseppe F, Richardson DS, et al. Global forecasting of thermal health hazards: the skill of probabilistic predictions of the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Int J Biometeorol* 2015;59:311–23.
- [39] Vernay M, Sponga M, Salavane B, Oléko A, Deschamps V, Malon A, et al. Statut en vitamine D de la population adulte en France : l'Étude nationale nutrition santé (ENNS, 2006–2007). *Bull Epidemiol Hebdo* 2012;16–17:189–94.