DETERMINER L'INTENSITE DES TORNADES EN EUROPE AVEC L'ECHELLE EF

DEFINITION DES INDICATEURS DE DOMMAGES DEDIES AU CONTINENT EUROPEEN

Dommages causés par la tornade EF4 de Hautmont (France) le 3 août 2008. © P. Mahieu, E. Wesolek.

Pierre MAHIEU

Emmanuel WESOLEK

KERAUNOS – Observatoire Français des Tornades et des Orages Violents

www.keraunos.org - contact@keraunos.org

KERAUNOS

PRÉAMBULE

L'Observatoire Français des Tornades et Orages Violents (KERAUNOS) a fait le choix, depuis 2009, d'utiliser de manière systématique l'échelle de Fujita améliorée (EF-scale) afin d'évaluer l'intensité des tornades en France. Pourquoi ce choix ? Parce que l'échelle EF est, on le verra, la seule véritable échelle de dommages adaptée à l'analyse des tornades sur le terrain, critère que ne remplit pas l'échelle de Fujita originelle (F-scale), souvent utilisée comme échelle de référence en Europe alors même qu'elle est une pure échelle de vitesses de vent (et non de dommages) dont l'application concrète soulève, par ce seul fait, de nombreuses difficultés.

L'utilisation de l'échelle EF en-dehors du territoire américain, où elle a été conçue, ne peut certes pas se faire telle quelle. Ceci a motivé dès 2009 la définition, par les deux auteurs de la présente étude, d'un certain nombre d'ajustements destinés à la rendre pertinente sur le continent européen. Ceux-ci ont fait l'objet d'une première présentation en 2011 lors de la 6ème Conférence Européenne sur les Orages Violents (ECSS), puis d'une série de communications dans le cadre des séminaires Keraunos notamment.

Depuis, grâce à huit années d'utilisation systématique et à un usage éprouvé sur plusieurs centaines de cas de tornades, la validité de cette démarche d'adaptation européenne de l'échelle EF est désormais suffisamment acquise pour proposer cette publication détaillée. Son objet vise à dépasser largement les frontières françaises et doit permettre de rendre la notation des tornades plus précise et aisée sur l'ensemble du continent européen, qui présente une certaine homogénéité dans ses modes de construction et sa végétation. Certains des indicateurs peuvent même se révéler pertinents et utiles sur d'autres continents. Le champ d'application de ces recherches est donc par nature très large.

La présente publication s'attache dans un premier temps à expliciter le choix qui a été fait par KERAUNOS d'utiliser l'échelle EF dans le processus de notation de l'intensité des tornades en France, à la différence de bon nombre de pays d'Europe et de l'ESSL (European Severe Storms Laboratory), où l'usage de l'échelle de Fujita d'origine (F-scale) et de l'échelle de Torro (T-scale) est encore la norme. Elle présente ensuite la méthodologie mise au point afin d'adapter l'échelle EF aux particularités propres au continent européen. Enfin, les indicateurs spécifiques définis dans ce cadre sont détaillés afin de pouvoir servir d'outil au quotidien en vue de la notation des tornades partout en Europe.

Cette publication ne se prétend pas définitive dans son fond, et pourra faire l'objet de mises à jour occasionnelles, notamment lorsque des tornades de forte intensité frappent des indicateurs de dommages jusqu'à maintenant peu documentés. Ces actualisations sont listées dans l'historique du document qui figure en dernière page.

Enfin, d'une manière générale, les auteurs souhaitent par cette publication contribuer à faire de l'échelle EF une échelle réellement internationale, seule solution si l'on souhaite réaliser une climatologie homogène de l'intensité des tornades partout autour du globe.

Pour contacter les auteurs : contact@keraunos.org
Pour toute citation : **Tornado Rating in Europe with the EF-scale**. P. Mahieu, E. Wesolek, 2016.

1 – POURQUOI L'ÉCHELLE EF ?

Cette interrogation peut paraître étonnante à l'heure où l'échelle EF constitue une référence aux Etats-Unis et au Canada, et ce depuis plusieurs années déjà. Il n'en est pas de même en Europe où cette échelle fait l'objet d'une certaine résistance, l'usage qui en est fait par KERAUNOS en France étant de ce point de vue un cas à part. Il semble donc utile d'expliciter ici de manière synthétique les raisons qui ont motivé ce choix.

COMMENT S'ÉVALUE L'INTENSITÉ D'UNE TORNADE ?

Pour bien comprendre la démarche de KERAUNOS dans le choix de l'échelle EF, il est utile de revenir à la question fondamentale qui nous occupe : comment s'évalue *concrètement*, *dans les faits*, l'intensité d'une tornade ?

Cette question se heurte d'emblée à un obstacle de taille. En effet, la mesure directe et objective de la vitesse des vents au sein d'une tornade est rarissime ; un comble pour un phénomène physique que l'on cherche à appréhender scientifiquement. Cet état de fait s'explique par deux raisons : d'une part, la probabilité est faible qu'un instrument de mesure soit par hasard positionné sur la trajectoire, toujours étroite, d'une tornade ; d'autre part, si le cas se présente, il est probable que l'anémomètre subira des dommages et ne pourra pas mesurer précisément la vitesse maximale du vent au sein du tourbillon.

Quand bien même ces deux limites seraient levées et qu'une mesure serait réalisée, il n'est pas certain que la mesure soit représentative de la valeur de vent maximale générée par cette tornade. En effet, la tornade est un tourbillon de vent par nature extrêmement turbulent, notamment à proximité du sol, avec des composantes de vent vertical et horizontal qui évoluent en permanence, et des vitesses de vent qui varient en tous points de sa trajectoire en fonction de la rugosité du terrain et des obstacles frappés. Réaliser une mesure de vitesse de vent précise et représentative dans ces conditions est un réel défi.

L'alternative qui consiste à mesurer les vents à distance à l'aide d'un radar Doppler a déjà fourni des résultats intéressants (Wurman, 2005). Néanmoins, les vents au niveau du sol sont difficiles à évaluer avec ce type d'instrument, et il est par ailleurs impossible à l'heure actuelle de procéder à ces mesures de manière systématique, la mise en place de radars Doppler mobiles étant onéreuse et complexe.

En somme, nous nous heurtons à l'impossibilité de mesurer de manière objective et systématique la vitesse du vent au sein des tornades. Face à cette problématique, quelle solution se présente ? La seule consiste à évaluer *a posteriori* l'intensité de la tornade par une enquête de terrain minutieuse. Son but : recenser les dommages laissés par la tornade, afin de les faire parler. De cette analyse pourra être déduite la vitesse probable des vents générés par le tourbillon, en déterminant la vitesse de vent au-delà de laquelle tel ou tel dommage se produit. Cette analyse déductive ne doit toutefois pas se faire de manière approximative. Un référentiel est nécessaire : c'est là où intervient le besoin d'une *échelle*.

LES CRITÈRES D'UNE BONNE ÉCHELLE

Une échelle qui permette de convertir des dégâts observés sur le terrain en vitesses de vent de tornade est nécessaire pour déterminer l'intensité maximale des vents avec fiabilité. Dans cette perspective, que peut-on exiger d'une telle échelle ?

- Elle doit être *adaptée à son usage*, c'est-à-dire avoir pour clé d'entrée des *catégories de dégâts*. Il s'agit là d'un principe méthodologique essentiel, car ce sont bien des dégâts qui vont être constatés et analysés sur le terrain, et rien d'autre.

- Elle doit proposer des estimations de vitesses de vent qui soient *calibrées*, vérifiées par l'expérience et validées par des spécialistes. Cet élément donne sa validité scientifique à l'échelle.

- Elle doit davantage raisonner en *fourchettes de vitesses* qu'en seuils fixes, tant il est clair qu'un type de dégât ne se produit pas toujours exactement à la même vitesse de vent. La durée des vents violents (dépendante de la largeur de la tornade et de sa vitesse de translation), les points de faiblesse des bâtiments touchés, la charge de débris emmenés par la tornade,… : tous ces éléments interviennent dans le seuil de rupture des éléments frappés et conséquemment sur les vitesses de vent à y associer.

- Enfin, elle doit être *synthétique*, afin de ne pas se perdre dans les détails inutiles. Chaque dégât est unique dans ses caractéristiques, et il est inutile de chercher à couvrir tous les possibles. L'échelle doit donc fixer les grandes lignes de l'analyse, les grandes catégories de dégâts ; charge à l'expertise sur place d'apporter les nuances nécessaires et d'ajuster les conclusions à la réalité du terrain.

La question est dès lors la suivante : quelle échelle répond le mieux à ces critères ? A ce jour, trois échelles y prétendent : l'échelle de Fujita (F-scale), l'échelle de Torro (T-scale) et l'échelle de Fujita améliorée (EF-scale). Afin d'y voir plus clair, les caractéristiques de chacune d'elles sont détaillées ci-après.

L'ÉCHELLE F : UNE ÉCHELLE DE VITESSE DE VENT

La première échelle dédiée aux tornades fut conçue aux Etats-Unis par le Dr. T. Theodore Fujita, expert parmi les plus réputés de l'époque dans ce domaine. Cette échelle de vitesse de vent fut élaborée dans un premier temps avec Pearson (échelle de Fujita-Pearson), puis se fit connaître seule sous le nom d'échelle de Fujita, ou échelle F.

L'idée en émergea à la fin des années 1960 et la première formulation en remonte au mois de février 1971 dans une publication de l'Université de Chicago (Fujita, 1971). L'idée consiste à relier le niveau maximal de l'échelle de Beaufort (force 12, ouragan) à la vitesse du son (Mach 1), en constituant une gradation composée de 12 niveaux. Ainsi, le niveau F1 correspond à la force 12 Beaufort et le niveau F12 à Mach 1. A ces 12 échelons, Fujita a ajouté un niveau F0 afin de prendre en compte les tornades les plus faibles, dont les vents sont estimés inférieurs à 12 Beaufort.

Si l'échelle de Fujita est une échelle à 13 niveaux, l'usage est limité dans les faits aux niveaux F0 à F5. En effet, Fujita considérait que des vents tourbillonnaires de vitesse F6 ou supérieure, même s'ils sont jugés exceptionnellement possibles, sont toutefois difficiles à

concevoir. De ce fait, Fujita répartit les tornades sur les 6 premiers degrés d'intensité de son échelle, en y associant empiriquement certains types de dégâts : F0 (très faible), F1 (faible), F2 (forte), F3 (sévère), F4 (dévastatrice) et F5 (incroyable).

Le détail de l'échelle F est présenté ci-dessous (Fujita, 1971):

F-SCALE	WIND SPEED	TYPICAL DAMAGE
F0	< 117 km/h	Light damage. Some damage to chimneys and TV antennae; breaks twigs off trees; pushes over shallow rooted trees.
F1	117 - 180 km/h	Moderate damage. Peels surface off roofs; windows broken; light trailer houses pushed or overturned; some trees uprooted or snapped; moving automobiles pushed off the road.
F2	181 - 253 km/h	Considerable damage. Roofs torn off frame houses leaving strong upright walls; weak buildings in rural area demolished; trailer houses destroyed; large trees snapped or uprooted; railroad boxcars pushed over; light-object missiles generated; cars blown off highway.
F3	254 - 332 km/h	Severe damage. Roofs and some walls torn off frame houses; some rural buildings completely demolished; trains overturned; steel-framed hangar-warehouse type structures torn; cars lifted off the ground; most trees in a forest uprooted, snapped or leveled.
F4	333 - 418 km/h	Devastating damage. Whole frame houses leveled, leaving piles of debris; steel structures badly damaged; trees debarked by small flying debris; cars and trains thrown some distances or rolling considerable distances; large missiles generated.
F5	419 - 512 km/h	Incredible damage. Whole frame houses tossed off foundations; steel-reinforced concrete structures badly damaged; automobile-sized missiles generated; incredible phenomena will occur.

Sur le principe, l'échelle F est séduisante en tant qu'échelle de vitesse de vent. En effet, elle permet de s'affranchir de la diversité des modes de construction, pour ne considérer que la vitesse du vent. Dans cette perspective, l'échelle peut donc en théorie s'appliquer partout dans le monde.

Mais, dans la réalité, la vitesse du vent est précisément l'inconnue qu'il s'agit de déterminer, et non une donnée certaine qui seule autoriserait un usage correct de l'échelle. C'est là un problème majeur qui empêche d'utiliser cette échelle de vitesse de vent comme elle le devrait : l'échelle F s'utilise dans les faits comme une échelle de dommages, c'est-à-dire à contresens, en utilisant les « typical damage » pour déduire une vitesse de vent. Ceci pose au moins deux problèmes sérieux dans l'estimation juste de l'intensité des tornades :

- d'une part, la relation entre les vitesses de vent et les dégâts causés est en grande partie arbitraire dans l'échelle F. Cette incertitude a d'ailleurs motivé des critiques dès les années 1970 (Minor et al., 1977). La principale conséquence est qu'il est hasardeux de déduire une vitesse de vent pertinente, et donc un classement F pertinent, en partant des exemples de dommages donnés par Fujita, faute d'un lien solide entre les deux.

- d'autre part, Fujita se base essentiellement sur la « well-constructed frame home » pour qualifier les niveaux de dommages. Or, cet indicateur est inadapté à l'Europe, où ce type d'habitat n'est pas la norme.

> Note : C'est l'occasion de souligner ici que l'on oppose souvent à l'usage de l'échelle EF en Europe le fait qu'elle est trop américaine dans ses indicateurs de dommages. Pourtant l'échelle F l'est tout autant, si ce n'est davantage : on vient de le voir, le seul indicateur fourni est typiquement américain et n'est pas adapté aux modes de construction européens. Ce fait ne suscite pour autant pas d'opposition quant à l'utilisation encore quasi-générale de l'échelle F en Europe, alors qu'on y voit un obstacle pour ce qui concerne l'échelle EF. Cette différence de jugement et d'appréciation entre les deux échelles est

surprenante et dommageable, car les classements dans l'échelle F en Europe sont entachés de très fortes incertitudes pour cette raison. Fujita a certes intégré dans un second temps la solidité des bâtiments frappés pour juger du niveau d'intensité sur l'échelle F (Fujita, 1981), mais cette modulation reste imprécise et aléatoire dans son application concrète.

Pour ces raisons, l'échelle F présente *dans l'usage courant qui peut en être fait* des limites sérieuses qui la rendent peu satisfaisante pour noter précisément l'intensité des tornades.

L'ÉCHELLE T : UNE ÉCHELLE DE VENT PROCHE DE L'ÉCHELLE F

L'échelle de Torro est pour sa part apparue au Royaume-Uni, où elle fut rendue publique en 1975. Son principe est voisin de celui de l'échelle F, à savoir que l'échelle T est basée sur l'échelle de Beaufort, qu'elle prolonge jusqu'à un équivalent de 30 Beaufort selon la formule suivante : T = (0,5 B - 4). Elle se revendique pour cette raison comme une pure échelle de vitesses de vent.

Contrairement à l'échelle F qui compte 6 niveaux utiles, l'échelle T en compte 12, de T0 à T11. Néanmoins, en raison d'une conception similaire, les deux échelles se superposent à quelques km/h près en suivant cette logique : T0 et T1 ≃ F0 ; T2 et T3 ≃ F1 ; etc. L'échelle T se présente ainsi peu ou prou comme une échelle F dédoublée.

Pour cette raison, son apport est extrêmement limité et l'échelle T ne résout aucune des faiblesses de l'échelle F. Elle tend même à les rendre d'autant plus évidentes qu'elle multiplie les niveaux d'intensité, le tout sans relation calibrée entre les dégâts annoncés et les vitesses de vent de l'échelle. Ajoutons à cela l'usage contestable de l'échelle de Beaufort, qui prend en compte les vents moyens sur 10 minutes, pour hiérarchiser des vents de tornade, évalués pour leur part sur la base de la plus forte rafale sur 3 secondes ; cette différence de référentiel rend le choix méthodologique de l'échelle T scientifiquement discutable.

L'échelle T est actuellement en usage courant au Royaume-Uni, et utilisée également comme référence par l'ESSL (European Severe Storms Laboratory) dans son classement des tornades européennes, aux côtés de l'échelle F (Groenemeijer, 2013).

L'ÉCHELLE EF : UNE ÉCHELLE DE DOMMAGES

Il s'agit là de la troisième et dernière échelle utilisée de manière opérationnelle. Elle trouve son origine au milieu des années 2000, lorsque des travaux ont été engagés aux Etats-Unis afin d'apporter une solution aux limites et approximations de l'échelle F. Ceux-ci ont donné naissance à l'échelle de Fujita améliorée (EF-scale), dont l'usage officiel a débuté en janvier 2007 aux Etats-Unis.

L'échelle EF a marqué un tournant dans l'évaluation de l'intensité des tornades. Certes, comme l'échelle F, elle se répartit sur 6 niveaux d'intensité, de EF0 à EF5. Néanmoins, la logique de l'échelle F originelle a été totalement revue, afin de constituer désormais une *échelle de dommages*, et d'éviter ainsi les écueils d'une pure échelle de vitesses de vent. Sa conception et sa structure se sont organisées en deux temps :

1 – dans un premier temps, 28 *indicateurs de dommages* ont été définis. On entend par là des grandes catégories de constructions ou de végétation, qui sont autant de références disponibles sur le terrain pour fonder l'analyse des dégâts. La liste de ces indicateurs de dommages est fournie ci-dessous (WSEC, 2004).

DI n°	DAMAGE INDICATOR (DI)	CODE
1	Small barns or farm outbuildings	SBO
2	One- or two-family residences	FR12
3	Manufactured home – single wide	MHSW
4	Manufactured home – double wide	MHDW
5	Apartments, condos, townhouses (3 stories or less)	ACT
6	Motel	M
7	Masonry apartment or motel building	MAM
8	Small retail building (fast food restaurants)	SRB
9	Small professionnal building (doctor's office, branch banks)	SPB
10	Strip mall	SM
11	Large shopping mall	LSM
12	Large, isolated retail building	LIRB
13	Automobile showroom	ASR
14	Automobile service building	ASB
15	Elementary school (single story, interior or exterior hallways)	ES
16	Junior or senior high school	JHSH
17	Low-rise building (1-4 stories)	LRB
18	Mid-rise building (5-20 stories)	MRB
19	High-rise building (more than 20 stories)	HRB
20	Institutional building (hospital, government or university building)	IB
21	Metal building system	MBS
22	Service station canopy	SSC
23	Warehouse building (tilt-up walls or heavy-timber construction)	WHB
24	Electrical transmission lines	ETL
25	Free-standing towers	FST
26	Free-standing light poles, luminary poles, flag poles	FSP
27	Trees : hardwood	TH
28	Trees : softwood	TS

2 - dans un second temps, plusieurs *degrés de dommages* ont été définis pour chacun de ces indicateurs. Les degrés de dommages s'échelonnent de « aucun dommage » à « destruction totale de l'indicateur ». Chaque degré de dommage est associé à une fourchette de vitesses de vent probables, calibrée par des ingénieurs en structures, et nuancée en fonction de la solidité de l'indicateur : des valeurs de vent basses, attendues et hautes sont donc fournies pour chaque degré de dommages.

Cette méthode permet d'obtenir une fourchette de vents calibrée pour chaque degré de dommage de chaque indicateur. La fiabilité de la relation entre la vitesse du vent et les dégâts s'en trouve très fortement accrue.

La principale conséquence de ce calibrage est une modification des vitesses de vent associées à chaque niveau de l'échelle par rapport à l'échelle F originelle. L'évolution est surtout sensible pour les niveaux supérieurs à (E)F2, alors qu'elle est minime pour les plus faibles

intensités. Ceci corrige le biais de l'échelle F, dénoncé de longue date, qui consistait à associer aux dommages des vitesses de vent arbitraires et excessives. L'échelle EF repositionne donc les vitesses de vent à des niveaux sans doute plus proches de la réalité.

Le tableau ci-dessous met en évidence l'évolution des vitesses de vent associées aux échelles F et EF :

ECHELLE F	VITESSE DU VENT	ECHELLE EF	VITESSE DU VENT
F0	< 117 km/h	EF0	103 – 137 km/h
F1	117 - 180 km/h	EF1	138 – 177 km/h
F2	181 - 253 km/h	EF2	178 – 217 km/h
F3	254 - 332 km/h	EF3	218 – 266 km/h
F4	333 - 418 km/h	EF4	267 – 322 km/h
F5	419 - 512 km/h	EF5	> 322 km/h

Malgré cette évolution dans les fourchettes de vent associées à chaque niveau de l'échelle, les échelles F et EF se superposent et coïncident *si l'on raisonne en termes de dommages*. Ainsi, par exemple, des dommages qui auraient justifié un classement F3 dans l'ancienne échelle justifieront le plus souvent un classement EF3 dans la nouvelle échelle. Il y a certes quelques divergences ponctuelles, mais la différence de notation n'excède généralement pas +/- 1 degré d'échelle. Autrement dit, de manière générale et dans l'immense majorité des cas, il est possible de considérer que EF ≃ F *lorsque l'on raisonne en terme de dommages*. Dès lors, l'échelle EF présente l'intérêt d'assurer une continuité avec l'échelle F dans la gradation des niveaux de dommages, ce qui évite une rupture importante dans la climatologie de l'intensité des tornades en passant de l'échelle F à l'échelle EF.

LE CHOIX DE L'ÉCHELLE EF

Les éléments qui précèdent font à ce jour de l'échelle EF l'échelle la plus pertinente dans son fond et dans sa forme afin de juger précisément de l'intensité des tornades et d'y associer des vitesses de vent réalistes.

Dans le détail, le choix de l'échelle EF comme nouvelle échelle de référence pour la notation des tornades en France par KERAUNOS depuis 2009 s'appuie sur les constats suivants :

- *Seule l'échelle EF est une échelle de dégâts*, ce qui la rend efficace et d'un usage pratique lors des enquêtes de terrain. Son principe est ainsi cohérent avec son utilisation, contrairement aux échelles F et T, qui sont des échelles de vents, utilisées à tort et à contre-emploi comme des échelles de dégâts.

- *Seule l'échelle EF propose des vitesses de vent calibrées* par des ingénieurs en structure, ce qui n'est pas le cas des échelles F et T.

- *Seule l'échelle EF propose une série d'indicateurs de dommages clairement définis*. A l'inverse, l'échelle F se base essentiellement sur la « well-constructed frame home » pour déterminer les niveaux de dommages, choix imprécis et inadapté à l'Europe.

- *Seule l'échelle EF permet une notation méthodologiquement rigoureuse des cas du passé*. En effet, par définition, les tornades anciennes ne bénéficient d'aucune mesure de vent. L'usage d'une échelle de vents (échelle F ou T) dans ce contexte n'est donc pas adapté, alors qu'une analyse par les dommages (échelle EF) trouve tout son sens, sa cohérence et son intérêt.

L'échelle EF présente donc une multitude d'avantages qui ont motivé au sein de KERAUNOS le choix de cette échelle comme référence méthodologique. Un travail spécifique a dès lors été engagé, afin d'en tirer le meilleur parti pour la notation des tornades en Europe ; ce sont ces travaux qui sont détaillés ci-après.

2 - ADAPTATION DE L'ÉCHELLE EF AU CONTEXTE EUROPEEN

L'utilisation de l'échelle EF sur le continent européen, pour être réellement pertinente, nécessite quelques ajustements. On peut en effet légitimement lui reprocher de comporter un certain nombre d'indicateurs de dommages dépendants des techniques de construction américaines et de prendre peu en compte, pour cette raison, les caractéristiques de l'habitat européen (Doswell, 2009).

Si cette remarque est fondée, il ne faut pas pour autant considérer le caractère « américanisé » de certains indicateurs de dommages de l'échelle EF comme un obstacle insurmontable. L'échelle EF ouvre au contraire de larges possibilités d'adaptation au contexte européen, qu'il convient d'exploiter. C'est précisément là le sens des travaux qui ont été menés depuis 2009 au sein de KERAUNOS par les deux auteurs de la présente publication.

UNE ÉCHELLE EF AUGMENTÉE

Nos travaux ont consisté dans un premier temps à dresser une liste complète de tous les dommages causés par les quelques 700 tornades répertoriées dans la base de données KERAUNOS pour les cas français, et par un certain nombre de tornades survenues dans d'autres pays d'Europe. Ce sont ainsi des centaines de tornades européennes qui ont été analysées dans le détail, afin de déterminer, pour chacune d'elles, quel type de bâtiment ou de végétal a été endommagé et de quelle manière.

Cette liste a ensuite été comparée aux 28 indicateurs de dommages déjà fournis par l'échelle EF. Il ressort de cette première analyse que 18 indicateurs de dommages peuvent être rencontrés en Europe, ce qui montre qu'une partie non négligeable de l'échelle EF peut déjà s'appliquer dans le contexte européen. Ces 18 indicateurs peuvent être qualifiés de *communs*, dans la mesure où leurs caractéristiques, sans être toujours absolument identiques, sont voisines des deux côtés de l'Atlantique. De ce fait, un degré de dommage déterminé bénéficiera d'une notation identique sur l'échelle aux Etats-Unis et en Europe.

Ces *indicateurs communs* sont les suivants : 3, 6, 8, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22,23, 25, 26, 27, 28. Nous le verrons plus loin : ces *indicateurs communs* sont très utiles car ils permettent d'assurer un calibrage de l'échelle EF sur le continent européen. Au premier rang de ces indicateurs communs figurent les indicateurs liés à la végétation, qui sont les plus universels de tous et qui nécessitent de ce fait une attention toute particulière.

A l'inverse, les autres indicateurs qui figurent dans l'échelle EF peuvent être qualifiés de *spécifiques*, dans la mesure où leur usage apparaît à ce jour réservé aux Etats-Unis.

Si, comme on vient de le voir, 18 indicateurs de dommages fournis par l'échelle EF peuvent s'appliquer en Europe, il n'en demeure pas moins qu'un certain nombre de constructions typiquement européennes ne bénéficient d'aucun indicateur : que faire lorsqu'une tornade frappe des corps de ferme construits en pierre ? Lorsque les principaux dégâts concernent une église bâtie en maçonnerie lourde ?

Afin de répondre à cette problématique, les deux auteurs ont défini des indicateurs spécifiques à l'Europe, en constituant ainsi une échelle EF « augmentée ». Ceci permet de fournir à l'échelle EF tous les éléments d'analyse nécessaires à son application sur le continent européen.

21 NOUVEAUX INDICATEURS

Pour permettre une bonne adaptation de l'échelle EF au continent européen, 10 nouveaux indicateurs de dommage ont été définis en 2009, et présentés publiquement en 2011 dans le cadre de la 6ème Conférence Européenne sur les Orages Violents (Mahieu, Wesolek, 2011). Les travaux poursuivis depuis par les deux auteurs ont permis d'aboutir à une liste plus complète ; ce sont ainsi, en définitive, 21 indicateurs de dommages qui ont été identifiés, définis et calibrés pour assurer l'adaptation européenne de l'échelle EF. La liste de ces indicateurs européens est fournie ci-après :

DI n°	DAMAGE INDICATOR (DI)	CODE
E-1	Petits hangars, granges et autres dépendances	FBO
E-2	Petites maisons individuelles sans mitoyenneté	COT
E-3	Maisons individuelles sans mitoyenneté	RHO
E-4	Maisons à étages en habitat groupé	UHO
E-5	Immeubles de ville avec mitoyenneté	UBO
E-6	Fermes traditionnelles	FAR
E-7	Moulins à vent	MIL
E-8	Usines et bâtiments industriels traditionnels	FAC
E-9	Églises	CHU
E-10	Châteaux médiévaux	MECAS
E-11	Edifices Renaissance et postérieurs	RECAS
E-12	Grands bâtiments à usage commercial ou récréatif	SMK
E-13	Poteaux et pylônes électriques	PYL
E-14	Réverbères et candélabres	SLA
E-15	Champs, potagers, ballots de paille et serres	AGR
E-16	Arbres	TRE
E-17	Vignes	VIG
E-18	Cimetières	CEM
E-19	Véhicules à moteur	VEH
E-20	Caravanes	CRV
E-21	Etres humains et animaux	LIV

S'y ajoutent trois indicateurs déjà définis, mais pas encore calibrés, faute d'un panel de tornades suffisamment large. Ces indicateurs concernent en effet des types de construction très récents, qui n'ont été que très rarement frappés par des tornades jusqu'à maintenant :

DI n°	DAMAGE INDICATOR (DI)
E-22	Maisons contemporaines et habitat écologique
E-23	Habitat résidentiel contemporain à plusieurs étages
E-24	Eoliennes

La somme de tous ces indicateurs doit permettre d'évaluer l'intensité des tornades pour la quasi-totalité des cas survenant en Europe. A noter que certains de ces indicateurs peuvent sans difficulté être utilisés sur d'autres continents, notamment les indicateurs « arbres », « champs », « véhicules motorisés », « caravanes » ou encore « êtres humains et animaux ».

NOTE SUR CES INDICATEURS

Environnement Canada a réalisé pour le Canada des travaux similaires à ceux effectués par KERAUNOS en Europe. Ceci a conduit à l'ajout de 6 nouveaux indicateurs en 2013 pour le territoire canadien (E.C., 2013) :

DI n°	DAMAGE INDICATOR (DI)	CODE
C-1	Electrical transmission lines	C-ETL
C-2	Trees	C-T
C-3	Heritage churches	C-HC
C-4	Solid masonry houses	C-SMH
C-5	Farm silos or grain bins	C-FSGB
C-6	Sheds, fences or lawn furniture	C-SFLF

C'est donc un total de 55 indicateurs qui à ce jour ont été étudiés et calibrés au sein de l'échelle EF (28 américains, 6 canadiens et 21 européens, détaillés dans cette publication).

Il faut toutefois noter qu'au moins deux indicateurs sont communs à ces différents travaux :

- nous proposons ici un indicateur « arbres » (E-16), qui est déjà traité par ailleurs dans les indicateurs 27 et 28 américains (« Trees : hardwood » ; « Trees : softwood »), et dans l'indicateur C-2 canadien (« Trees »). Notre approche ne vient pas contredire ces autres indicateurs préexistants, mais les compléter avec une analyse plus « dynamique » qui permet de préciser les conclusions dans certaines situations.

- nos analyses et conclusions sur l'indicateur « églises » ont fait l'objet d'une communication à Environnement Canada en 2013, qui l'a utilisé pour bâtir l'indicateur canadien C-3 « Heritage churches » ; ce dernier est donc directement issu de notre indicateur européen « églises » (E-9) présenté dans cette publication, et dès lors quasiment identique.

MÉTHODOLOGIE

Conformément au principe de l'échelle EF, chaque nouvel indicateur de dommages a été analysé afin de déterminer les degrés de dommages qui lui sont propres, depuis « dommages mineurs » jusqu'à « destruction totale de l'indicateur ». Le lien qui a ensuite été établi entre chacun de ces degrés de dommages et les niveaux EF0 à EF5 n'est pas aléatoire, mais a été déterminé en suivant une méthodologie précise et systématique.

En l'occurrence, la méthode utilisée a consisté à *calibrer* chaque degré de dommage des nouveaux indicateurs européens en se référant aux dommages subis par un *indicateur commun* frappé en même temps par la même tornade. En d'autres termes, les *indicateurs communs* déjà

listés dans l'échelle EF ont servi d'*étalon* pour déterminer les niveaux d'échelle EF associés à chaque degré de dommage des 21 nouveaux indicateurs européens.

Ainsi par exemple, il a été possible de déterminer que les tornades qui causent des dommages de niveau EF2 sur l'indicateur commun HARDWOOD abattent ordinairement la flèche des églises situées à proximité de ces arbres. Dès lors, le degré de dommage « flèche d'église abattue » a pu être associé à un niveau d'intensité EF2.

Afin d'aboutir à des conclusions solides, ces relations n'ont pas été établies sur un seul événement pour chaque degré de dommages, mais sur une multitude de cas étudiés de manière comparative : le calibrage des nouveaux indicateurs est basé sur la *moyenne des corrélations les plus fréquemment observées* entre un degré de dommages d'un *indicateur à calibrer*, et un degré de dommages d'un *indicateur commun*. A titre d'exemple, il a pu être établi que des pans de toitures d'habitations de type E-2 sont arrachées dans 70% des cas de tornades où les arbres sont déracinés ; ou encore que 95% des cas de tornades qui dépouillent et projettent à distance les arbres détruisent en grande partie les habitats de type E-3, ou traînent voire emportent à faible distance les voitures.

C'est ce *caractère majoritaire*, ou autrement dit *prédominant*, d'une relation entre deux degrés de dommages de deux indicateurs différents qui donne sa solidité à la méthode utilisée. Ceci permet en effet de neutraliser les biais éventuels liés à des configurations d'environnement atypiques ou à des variations brusques d'intensité des phénomènes, et de ne retenir en définitive que les corrélations qui disposent d'une représentativité forte et répétée sur un panel de cas large.

Ce principe de calibrage des nouveaux indicateurs européens a été appliqué à plus d'un millier de tornades françaises et européennes, afin de disposer d'un éventail de dommages très large, qui puisse couvrir une grande variété d'intensités et de configurations. Un lien fiable et calibré entre les degrés de dommages de chaque indicateur et une intensité de tornade précise a ainsi pu être établi.

Naturellement, compte tenu de la fréquence limitée des tornades violentes en Europe, certaines incertitudes persistent sur les dommages exacts causés sur certains indicateurs par les tornades d'intensité EF4 et EF5. De ce fait, quelques ajustements sur ces niveaux pourront être réalisés à l'avenir.

3 – LISTE DES INDICATEURS DE DOMMAGES SPÉCIFIQUES POUR UN USAGE EN EUROPE

Les 21 indicateurs spécifiques définis par les auteurs pour un usage en Europe sont détaillés ci-après. Une notice d'utilisation est fournie en page 16.

Afin d'assurer une utilisation pertinente de ces outils, un certain nombre de remarques et conseils préliminaires sont indiqués ci-dessous.

REMARQUES PRÉLIMINAIRES

- Il est important de garder à l'esprit que chaque bâtiment ou élément du paysage frappé par une tornade réagit *d'une manière qui lui est propre*, en fonction de sa robustesse et de ses faiblesses, de l'environnement proche qui peut partiellement le protéger ou à l'inverse accentuer les dommages, de la charge de débris emmenés par la tornade, etc. Face à cette réalité complexe, les indicateurs de dommage indiqués ci-après s'attachent à identifier des *catégories génériques de dégâts* et à fournir pour chacune d'elles une *intensité de référence*, calibrée sur une situation standard et un indicateur en bon état. Il est essentiel que l'expertise de terrain vienne nuancer ce référentiel standard en fonction des particularités propres à chaque situation. Pour ce faire, des fourchettes basses et hautes sont fournies pour chaque degré de dommage, afin de disposer de référentiels élargis adaptés à une très grande variété de configurations.

- Il est impossible de couvrir ici toutes les variétés de constructions qui se rencontrent en Europe. Il est donc recommandé, pour analyser des dommages sur un bâtiment atypique et non référencé, de se baser sur la catégorie d'indicateur la plus proche, puis de déterminer sa solidité par rapport à l'indicateur type afin d'utiliser avec discernement les fourchettes d'intensité.

- L'analyse des dommages aux bâtiments nécessite une attention particulière quant à leur état de conservation et d'entretien. Il est important par ailleurs de prendre en compte les spécificités éventuelles des attaches entre toiture et murs, ainsi qu'entre murs et fondations. Toute faiblesse de structure doit justifier l'usage de la fourchette basse. A l'inverse, toute structure très solide et en parfait état doit justifier l'usage de la fourchette haute.

- Par convention, l'intensité que l'on retient pour une tornade est celle de son intensité maximale, et non son intensité moyenne. Afin de déterminer avec fiabilité cette intensité maximale, il est recommandé, dans la mesure du possible, de confronter plusieurs indicateurs de dommages proches les uns des autres dans la zone où les dégâts les plus sévères sont constatés. En effet, un degré de dommage anormalement élevé sur un seul indicateur peut trahir une fragilité anormale de cet indicateur, et ne pas être nécessairement la conséquence d'une intensification du phénomène. L'étude comparée de plusieurs indicateurs permet ainsi d'éviter toute méprise dans les conclusions.

- Notre connaissance des vitesses de vent exactes générées par une tornade à proximité du sol restant incertaine, il est probable que les fourchettes estimatives fournies à ce jour dans

l'échelle EF puissent être amenées à évoluer légèrement à l'avenir. Le bas de l'échelon EF0 notamment suscite des discussions quant à son abaissement au-dessous du seuil actuel de 103 km/h, et certains débats existent également sur la vitesse de vent à associer aux échelons les plus élevés (EF4 et EF5). C'est la raison pour laquelle les classements indiqués ci-après sont réalisés *directement sur les échelons de l'échelle EF*, et non en vitesses absolues, afin de s'affranchir de ces incertitudes.

- Les analyses présentées ci-après et les vitesses de vent que l'on peut y associer de manière estimative sont valables uniquement pour les tornades. A vitesse de vent comparable, les tornades produisent en effet des dommages qui peuvent varier par rapport à ceux causés par des vents linéaires. Dès lors, l'utilisation de l'échelle EF pour l'analyse des microrafales, macrorafales et autres rafales convectives n'est pas recommandée.

- Les conclusions présentées ci-après ne sont pas nécessairement définitives. Certains détails pourraient être ajustés dans le futur, notamment pour les degrés de dommages les plus élevés, pour lesquels l'échantillon de tornades analysées est moins large en raison de leur plus grande rareté. A noter par ailleurs qu'un indicateur « E-22. Maisons contemporaines et habitat écologique », un indicateur « E-23. Habitat résidentiel contemporain à plusieurs étages », et un indicateur « E-24. Eoliennes » sont actuellement en cours d'étude.

APPORTS COMPLÉMENTAIRES LIÉS À CES TRAVAUX

Les travaux réalisés par les auteurs pour adapter l'échelle EF au contexte européen s'appuient sur des centaines de cas analysés et sur près de vingt années d'enquêtes de terrain sur tous types de sinistres météorologiques. Ceci nous a conduits à :

- *Développer une approche dynamique* : outre la sévérité des dommages, l'intensité d'une tornade se manifeste aussi par les projections à distance qu'elle produit. Pour cette raison, une analyse dynamique des dommages se révèle pertinente en de nombreuses circonstances, notamment pour les tornades d'intensité modérée à violente. Les degrés de dommages retenus ci-après proposent donc régulièrement une approche dynamique (mise en mouvement des objets, projections,…), qui vient compléter l'approche plus statique des indicateurs de dommages américains et canadiens.

- *Identifier des indicateurs même en zone peu habitée* : les travaux menés ont également visé à fournir autant que possible des indicateurs précis même dans des espaces peu habités. Il n'est en effet pas rare qu'une tornade concentre son action sur une zone fortement rurale, où les indicateurs de dommages liés aux habitations font défaut. Une attention particulière a donc été portée aux indicateurs liés à la végétation et aux cultures, pour permettre une évaluation de l'intensité des tornades en toutes situations.

Les fiches fournies ci-après pour chaque indicateur sont toutes organisées selon le même principe, détaillé ci-dessous :

E-9. ÉGLISES [CHU]

nom et références de l'indicateur de dommages

DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Eglises paroissiales bâties en dur (pierre, brique, grès, granit) avec nef voûtée, murs épais en maçonnerie lourde ; couverture constituée d'ardoises, de plomb, de cuivre ou de zinc ; charpente complexe ; clocher(s) de plusieurs dizaines de mètres de hauteur.

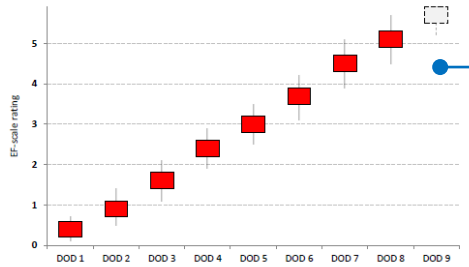
description des caractéristiques de l'indicateur

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	premiers dommages visibles : éléments décoratifs endommagés
2	portions limitées de couverture du toit arrachées (<20%)
3	pertes significatives sur la couverture du toit (20-50%) ; légers dommages sur la partie sommitale du clocher; quelques éléments décoratifs en pierre de taille brisés ou enlevés (croix, pignons, statues)
4	chute de la flèche du clocher
5	majeure partie de la couverture du toit arrachée (50-80%), charpente endommagée; murs intacts
6	toiture arrachée à plus de 80% et projetée à distance ; quelques murs effondrés ; dommages sur la structure du clocher
7	toiture totalement arrachée ; nombreux murs effondrés ; clocher en partie détruit
8	clocher en grande partie détruit, très nombreux murs effondrés
9	destruction totale de l'édifice

description détaillée des degrés de dommages (DOD), classés du plus faible au plus sévère, le degré 1 étant le degré de dommages le plus faible (degré 0 = pas de dommages)

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



position de chacun des degrés de dommages sur l'échelle EF :
* la **position standard** est figurée par un rectangle rouge
* les **fourchettes hautes** et **basses** sont figurées par les barres verticales de couleur noire
* si la position est incertaine, le rectangle est de couleur grise, avec contours en tirets

NOTES

- églises en brique seule ou en maçonnerie légère : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD
- bâtiment de petite taille, très ancien, mal entretenu ou endommagé avec nombreux points de faiblesse : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD
- bâtiment très solide et de très grande dimension (cathédrales) : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD

notes relatives à l'utilisation des fourchettes hautes et basses, et conseils d'usage de l'indicateur

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-9** sans dommages (**DOD 0**) :

E-9 DOD 6 : Tornade d'Oostmalle (Malle, Belgique) du 25 juin 1967. Eglise d'Oostmalle éventrée. Photo : Heemkundige Kring van Malle, RTL Nieuws.

sélection de photographies permettant d'illustrer certains degrés de dommages

LISTE DES INDICATEURS DE DOMMAGES COMPLÉMENTAIRES POUR UN USAGE EN EUROPE NOTAMMENT

E-1. Petits hangars, granges et autres dépendances [FBO] p. 18

E-2. Petites maisons individuelles sans mitoyenneté [COT] p. 20

E-3. Maisons individuelles sans mitoyenneté [RHO] p. 22

E-4. Maisons à étages en habitat groupé [UHO] p. 24

E-5. Immeubles de ville avec mitoyenneté [UBO] p. 26

E-6. Fermes traditionnelles [FAR] p. 28

E-7. Moulins à vent [MIL] p. 30

E-8. Usines et bâtiments industriels traditionnels [FAC] p. 32

E-9. Eglises [CHU] p. 35

E-10. Châteaux médiévaux [MECAS] p. 38

E-11. Edifices Renaissance et postérieurs [RECAS] p. 40

E-12. Grands bâtiments à usage commercial ou récréatif [SMK] p. 42

E-13. Poteaux et pylônes électriques [PYL] p. 44

E-14. Réverbères et candélabres [SLA] p. 46

E-15. Champs, potagers, ballots de paille et serres [AGR] p. 48

E-16. Arbres [TRE] p. 50

E-17. Vignes [VIG] p. 52

E-18. Cimetières [CEM] p. 54

E-19. Véhicules à moteur [VEH] p. 56

E-20. Caravanes [CRV] p. 58

E-21. Etres humains et animaux [LIV] p. 60

A L'ETUDE :

E-22. Maisons contemporaines et habitat écologique p. 62

E-23. Habitat résidentiel contemporain à plusieurs étages p. 62

E-24. Eoliennes p. 62

E-1.PETITS HANGARS, GRANGES ET AUTRES DÉPENDANCES [FBO]

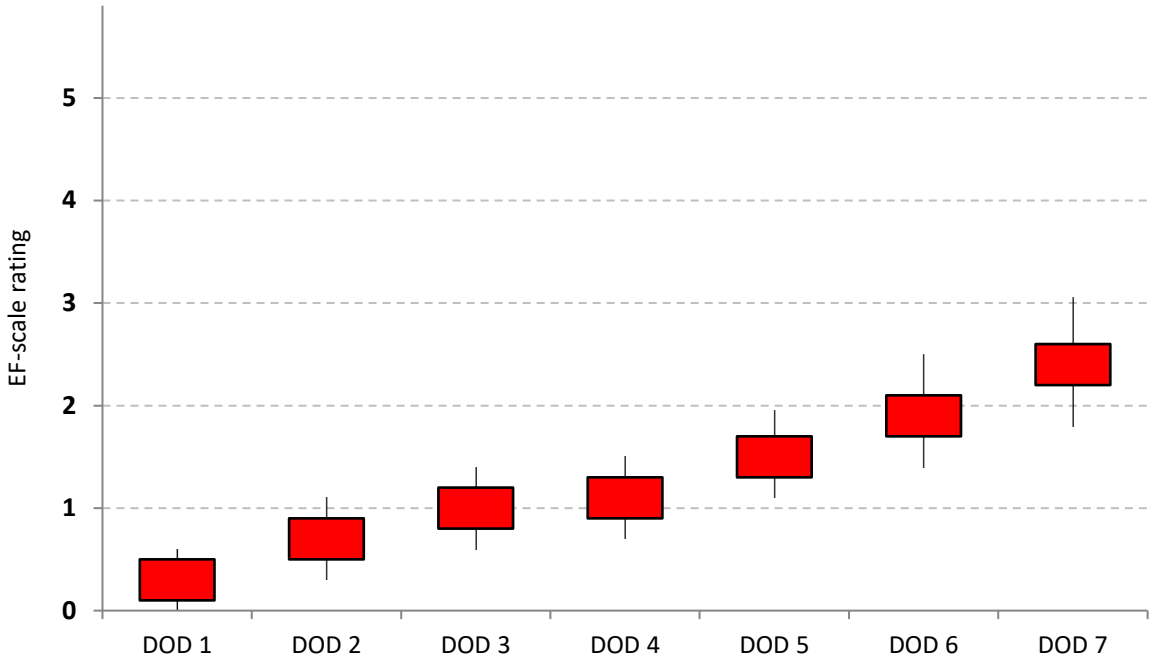
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Granges, fenils, étables et hangars de petite dimension avec maçonnerie légère. Murs et cloisons ordinairement en bois, en parpaings ou en métal. Toiture généralement composée de tôles métalliques, d'ardoises, ou de matériaux de type Plexiglas® ou Everite®. Matériaux en dur minoritaires.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	premiers dommages visibles : gouttières et rares éléments de toiture arrachés, tôles pliées,...
2	toiture endommagée ou arrachée à moins de 50%, sans projections à distance ou de manière marginale
3	portes enfoncées ou arrachées
4	toiture endommagée ou arrachée à plus de 50% ; quelques projections à distance
5	toiture entièrement arrachée, murs ou cloisons partiellement effondrés
6	bâtiment détruit en quasi-totalité
7	bâtiment rasé et soufflé ; les débris du bâtiment sont projetés à grande distance

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- structures très fragiles, anciennes, mal entretenues ou endommagées avec nombreux points de faiblesse : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD

- structures de plus grande taille ou présentant une certaine robustesse : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-1** sans dommages (**DOD 0**) :

E-1 DOD 7 : Tornade de Humbert (France) du 23 août 2010. Hangar soufflé et débris projetés à grande distance. Photo : P. Mahieu, E. Wesolek / KERAUNOS.

E-2. PETITES MAISONS INDIVIDUELLES SANS MITOYENNETÉ [COT]

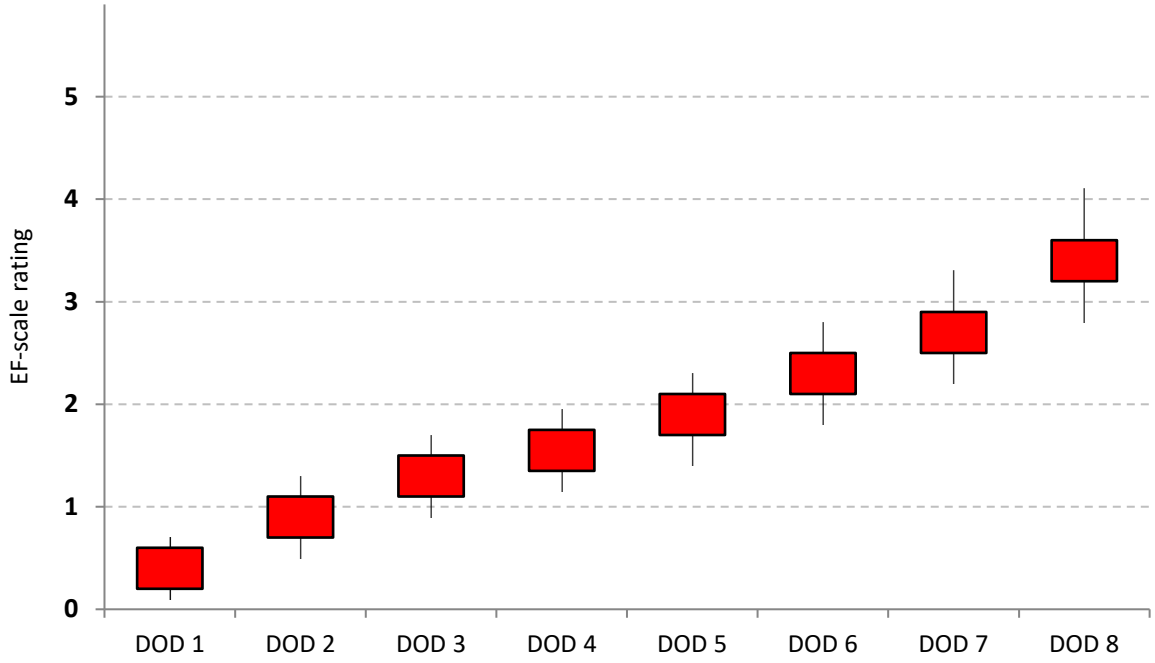
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Petites habitations, de type cottages ou chaumières, présentant comme caractéristiques communes : murs extérieurs généralement en torchis ou en maçonnerie légère, murs intérieurs inexistants ou peu nombreux, quelques cloisons. Toiture avec charpente, et couverture en chaume, ardoises ou tuiles. Très caractéristique de l'habitat rural ancien.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	premiers dommages visibles, dégâts superficiels à la toiture
2	entre 10 et 50% de la couverture du toit endommagée
3	plus de 50% de la couverture du toit emportée
4	couverture du toit totalement envolée mais charpente intacte
5	couverture du toit enlevée, charpente endommagée
6	toiture arrachée (charpente enlevée), murs écrêtés
7	habitation en partie détruite, nombreux murs effondrés
8	habitation totalement détruite

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- maisons fragiles, anciennes, mal entretenues ou endommagées avec nombreux points de faiblesse : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD

- maisons relativement solides et/ou en excellent état de conservation : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-2** sans dommages (**DOD 0**) :

E-2 DOD 8 : Tornade meurtrière de Dreux (France) du 18 août 1890. Maison détruite dans le quartier Saint-Thibault. Photo : archives Keraunos.

E-3. MAISONS INDIVIDUELLES SANS MITOYENNETÉ [RHO]

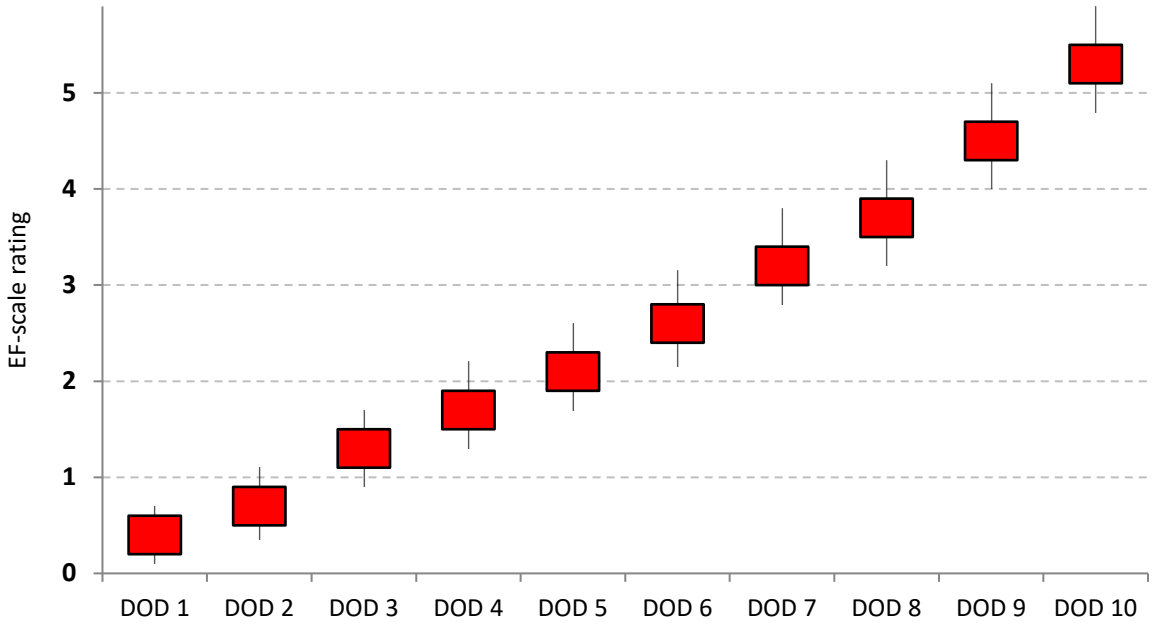
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Habitations individuelles bâties en dur, contemporaines ou traditionnelles, avec un étage et/ou une toiture mansardée. Murs extérieurs et intérieurs, multiples cloisons, maçonnerie légère ou lourde, toiture avec charpente parfois complexe. Très caractéristique de l'habitat pavillonnaire.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	premiers dommages visibles : quelques tuiles déplacées, antenne pliée
2	couverture de toit endommagée (<20%), gouttières et/ou faîtières arrachées
3	vitres brisées (fenêtres ou portes), couverture du toit partiellement enlevée (20 à 50%),
4	couverture du toit enlevée à plus de 50%, cheminées effondrées, portes de garages enfoncées vers l'intérieur, plafonds soulevés, baies vitrées en double-vitrage parfois soufflées
5	couverture du toit en grande partie enlevée (>80%), larges portions de charpente arrachées, murs toujours intacts
6	toiture entièrement arrachée et murs extérieurs supérieurs écrêtés ou effondrés
7	premier étage détruit en tout ou partie (murs intérieurs et extérieurs détruits), habitations en plain-pied éventrées
8	murs extérieurs du rez-de-chaussée démolis, seuls les murs intérieurs subsistent
9	habitation totalement détruite
10	habitation rasée et soufflée, dommages possibles jusque dans les sous-sols

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- maisons fragiles, anciennes, mal entretenues ou endommagées avec nombreux points de faiblesse : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD
- maisons très solides et en bon état : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD
- maisons avec une partie des murs en béton : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD
- maisons à ossature béton : ne pas utiliser cet indicateur

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-3** sans dommages (**DOD 0**) :

E-3 DOD 9 : Tornade meurtrière de Hautmont (France) du 3 août 2008. Habitation presque entièrement rasée à Boussières-sur-Sambre. Photo : P. Mahieu, E. Wesolek / KERAUNOS.

E-4. MAISONS À ÉTAGES EN HABITAT GROUPÉ [UHO]

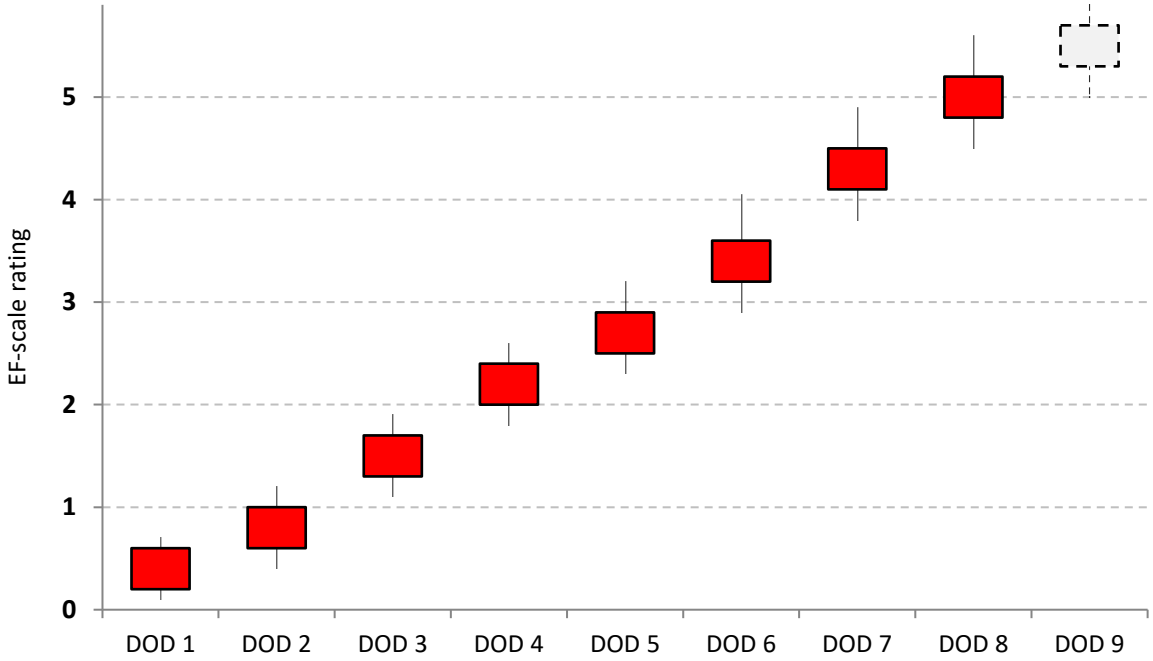
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Habitat groupé, bâti en dur ; maisons que l'on retrouve notamment dans les centres historiques des villes et des villages, dans les faubourgs, les hameaux ou l'habitat ouvrier mitoyen. Maisons avec un ou plusieurs étages, murs mitoyens, toit mansardé, maçonnerie légère ou lourde, et charpente.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	premiers dommages visibles: antennes TV pliées, faîtières endommagées, gouttières déplacées, tordues ou décrochées, pignons endommagés
2	couverture du toit faiblement endommagée (<20%)
3	couverture du toit endommagée (20 à 50%)
4	couverture du toit en grande partie soufflée (> 50%), charpente endommagée
5	toiture entièrement arrachée ou effondrée, étage supérieur écrêté
6	maison éventrée, étage supérieur soufflé, rez-de-chaussée intact
7	habitation en grande partie détruite, murs du rez-de-chaussée en partie effondrés
8	habitation entièrement détruite
9	habitation rasée et soufflée, dommages possibles jusque dans les sous-sols

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- maisons fragiles, anciennes, mal entretenues ou endommagées avec nombreux points de faiblesse : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD
- maisons très solides et en bon état : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD
- maisons avec murs en béton : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-4** sans dommages (**DOD 0**) :

E-4 DOD 6 : Tornade meurtrière de Tricht (Pays-Bas) du 25 juin 1967. Etages supérieurs de logements collectifs soufflés. Photo : Archives Nationales Néerlandaises.

E-5. IMMEUBLES DE VILLE AVEC MITOYENNETÉ [UBO]

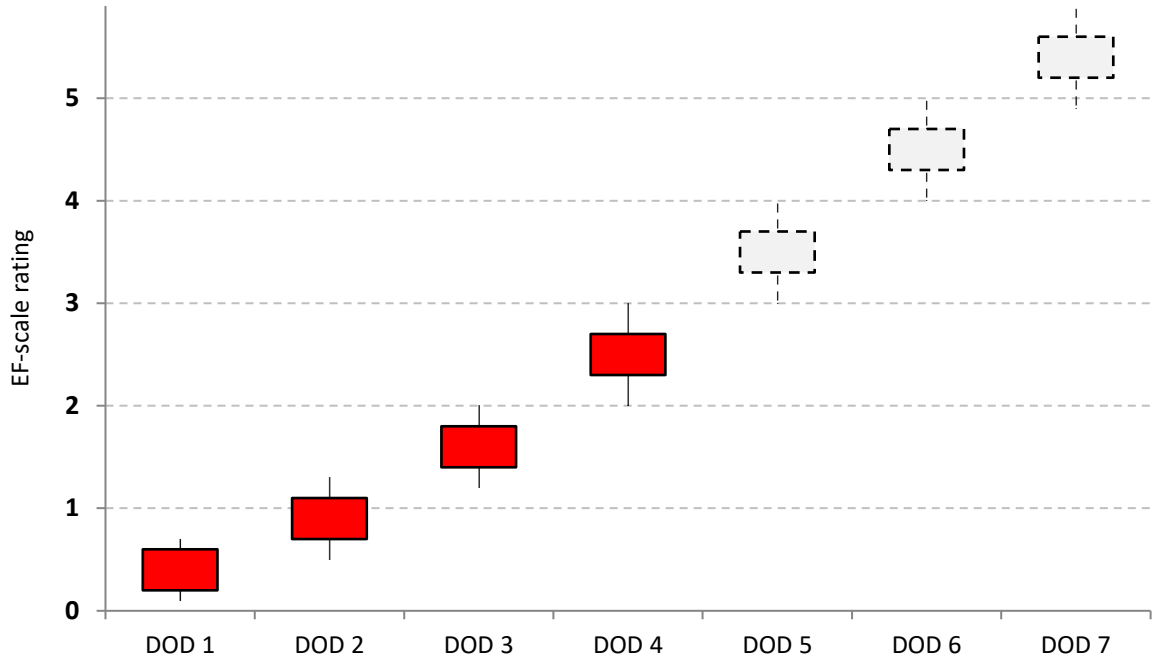
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Immeubles de ville bâtis principalement en pierre ou en brique, avec mitoyenneté, élevés en rangs d'égale hauteur et caractéristiques des larges avenues et boulevards édifiés à partir du XVIII^{ème} siècle et tout au long du XIX^{ème} siècle. Constructions à plusieurs niveaux (le plus souvent entre trois et cinq étages) avec toiture mansardée, couverture en plomb, en zinc ou en cuivre, de grandes cheminées et des éléments de décoration ou d'agrément parfois significatifs (pignons, statues, balcons, pilastres).

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	premiers dommages visibles : faîtières endommagées, gouttières déplacées, tordues ou décrochées, pignons endommagés
2	éléments de couverture pliés ou retournés, quelques éléments de toiture décrochés (<20%)
3	couverture du toit enlevée (20 à 50%), chute de cheminées et de pignons de grande dimension
4	couverture du toit enlevée à plus de 50%, éléments de charpente arrachés
5	toiture arrachée, étage supérieur partiellement effondré, dommages multiples sur toute la partie supérieure
6	étage supérieur soufflé, dommages structurels sur tout l'immeuble
7	étages supérieurs détruits, dommages structurels importants sur tout l'immeuble

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- immeubles fragiles, anciens, mal entretenus ou endommagés avec nombreux points de faiblesse : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD
- immeubles très solides et en bon état : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD
- cet indicateur n'a pas pu être évalué à ce jour sur des immeubles en béton : ne pas l'utiliser dans ce cas-là

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-5** sans dommages (**DOD 0**) :

E-6. FERMES TRADITIONNELLES [FAR]

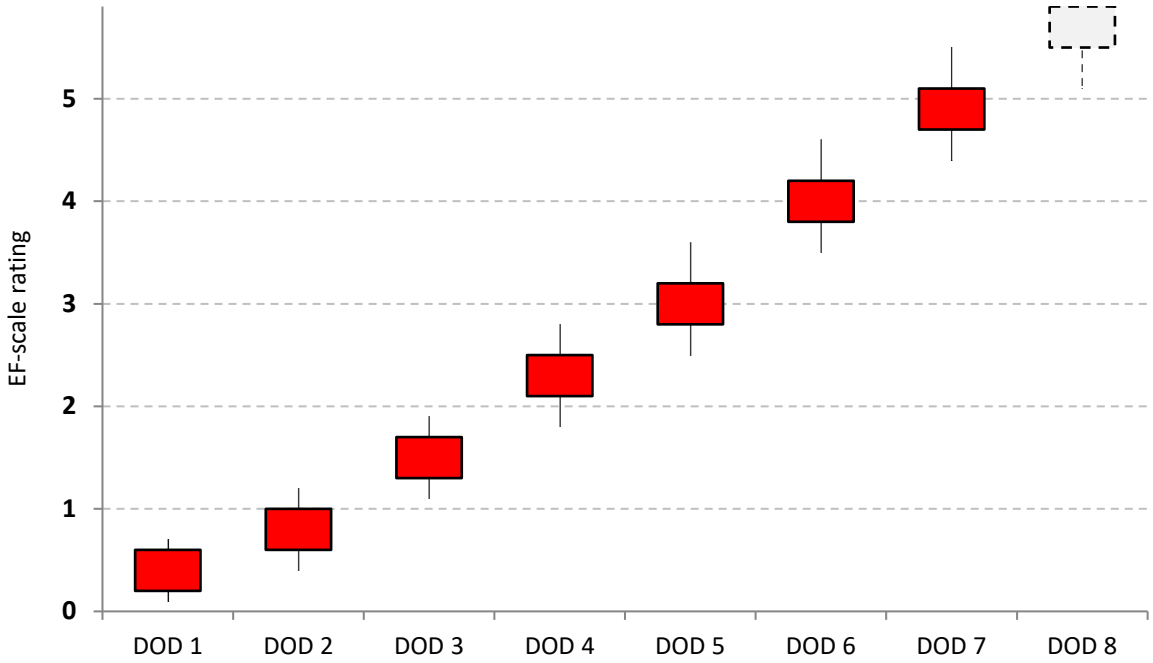
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Fermes ou logis bâtis en dur (pierre de taille, brique, grès, granit) avec maçonnerie lourde ; murs épais et résistants, toiture avec charpente complexe, couverture en ardoises ou en tuiles ; toiture mansardée.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	dégâts superficiels: faîtières endommagées, gouttières déplacées, tordues ou décrochées
2	quelques tuiles déplacées (< 20% de la couverture du toit)
3	20 à 50% de la couverture du toit soufflée, charpente intacte
4	couverture du toit en grande partie enlevée (>50%) avec des éléments de charpente arrachés, murs intacts
5	toiture entièrement arrachée, murs extérieurs partiellement endommagés
6	nombreux murs fortement endommagés ou effondrés
7	seules quelques petites portions de murs restent debout
8	bâtiment soufflé et entièrement détruit jusqu'au sol

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- bâtiments fragiles, très anciens, mal entretenus ou endommagés avec nombreux points de faiblesse : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD
- bâtiments très solides et en bon état : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD
- fermes en bois : utiliser l'indicateur E-2 « petites maisons individuelles sans mitoyenneté »

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-6** sans dommages (**DOD 0**) :

E-6 DOD 5 : Tornade meurtrière de la Ferrière (Suisse) du 12 juin 1926. Toiture d'une ferme de la Chaux-de-Fonds entièrement arrachée, murs extérieurs partiellement endommagés (E-6 - DOD 5, haut de l'échelon). Photo : Bibliothèque de la Chaux-de-Fonds

E-7. MOULINS À VENT [MIL]

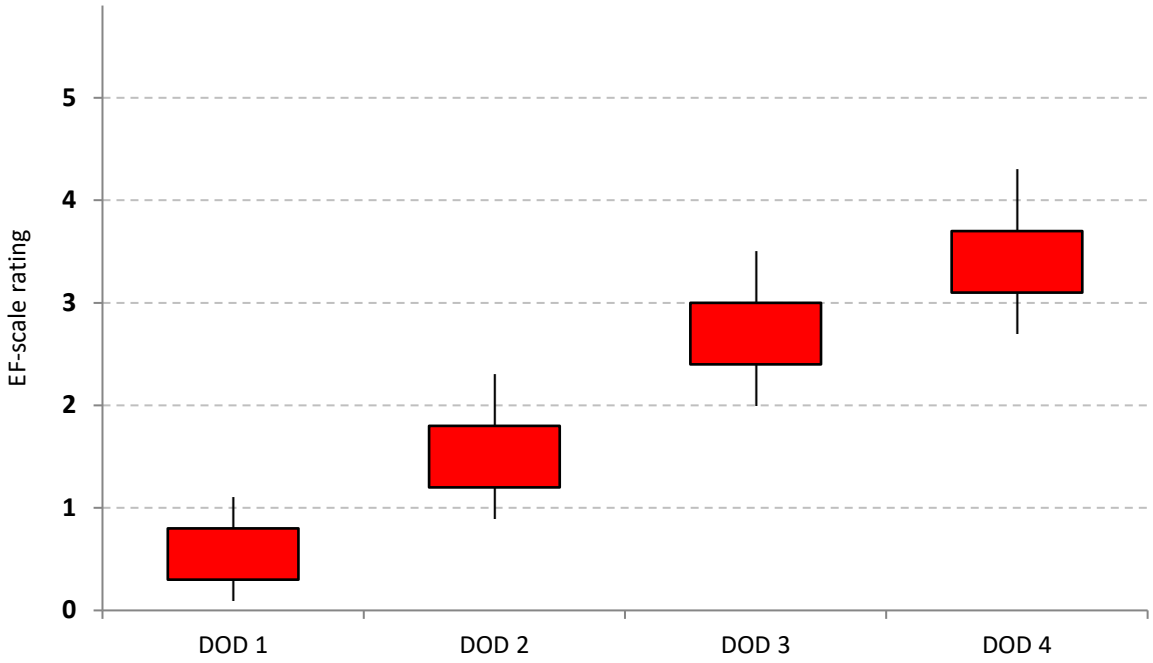
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Moulins à vent traditionnels : structure porteuse en maçonnerie (moulin-tour), ou corps entier construit en bois (moulin sur pivot), ou structures mixtes (moulin cavier, moulin à galerie). Caractéristiques communes : calotte amovible, toiture charpentée et ailes.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	dégâts superficiels: éléments de toiture enlevés
2	calotte ou partie sommitale des moulins sur pivot arrachée
3	structure partiellement détruite, avec parties en bois arrachées et résistance partielle des parties en dur
4	structure entièrement détruite

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- moulin sur pivot : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD
- moulin-tour : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-7** sans dommages (**DOD 0**) :

E-7 DOD 2 : Tornade de Zaandam (Pays-Bas) du 21 août 1930. Calotte du moulin de Zaansche arrachée. Photo : Archives Nationales Néerlandaises.

E-8. USINES ET BÂTIMENTS INDUSTRIELS TRADITIONNELS [FAC]

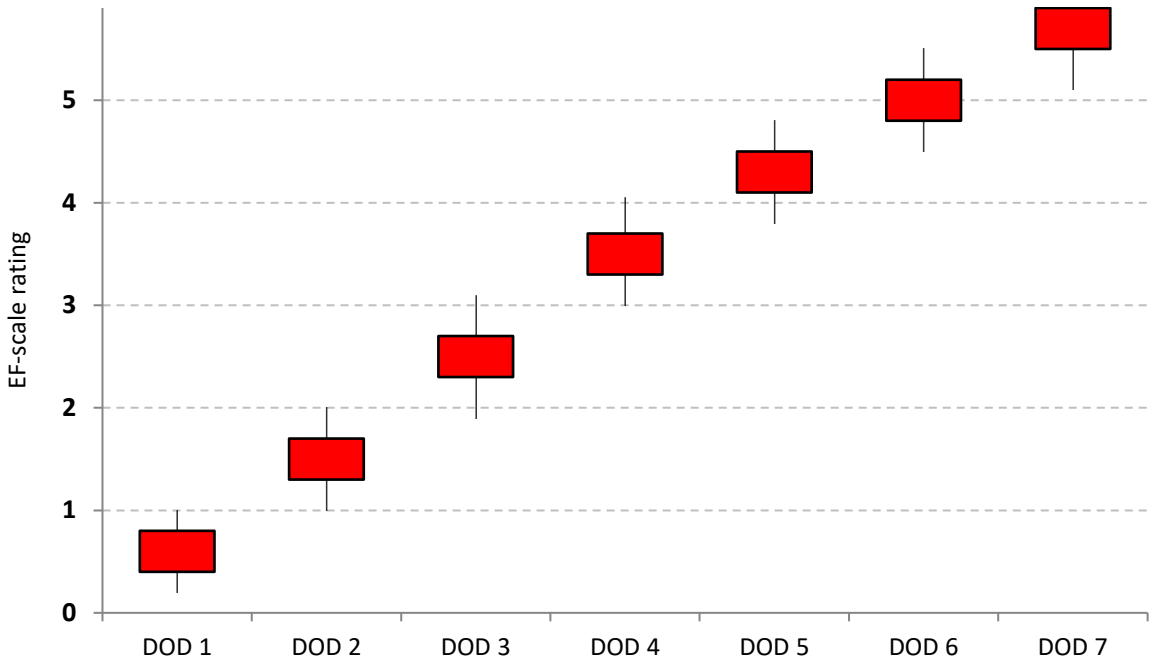
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Vastes structures en brique (filatures, tissages, minoteries,…), avec volumes conséquents. Constructions à multiples niveaux (entre trois et six étages) et à toiture généralement plate, rarement mansardée. Bâtiments souvent accompagnés de grandes cheminées en brique de plusieurs dizaines de mètres de hauteur.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	dégâts superficiels: éléments de toiture enlevés (gouttières, ornements)
2	dégâts légers sur la toiture ou les parties supérieures: couvertures et matériaux d'étanchéité enlevés, vitres cassées ; petite portion de toiture arrachée (< 20%) ; cheminées écroulées
3	portion significative de toiture arrachée (20 à 50%) ; cheminées écroulées ou soufflées en grande partie
4	toiture arrachée à plus de 50%, avec effondrement partiel des parties supérieures (plafonds, murs des étages élevés)
5	toiture totalement arrachée, nombreux murs effondrés sur les étages supérieurs, bâtiment éventré
6	bâtiment en grande partie détruit, nombreux murs effondrés aux étages inférieurs
7	bâtiment entièrement détruit

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- bâtiment fragile, très ancien, mal entretenu ou endommagé avec nombreux points de faiblesse : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD
- bâtiment très solide et en bon état : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD
- bâtiment en béton : ne pas utiliser cet indicateur

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-8** sans dommages (**DOD 0**) :

E-8 DOD 5 : Tornade meurtrière de Neede (Pays-Bas) du 1er juin 1927. Un des bâtiments principaux de la filature Ter Weeme & Fils éventré. Photo : Archives Nationales Néerlandaises.

E-8 DOD 5 : Tornade meurtrière de Wiener Neustadt (Autriche) du 10 juillet 1916. Bâtiment d'une usine de locomotives éventré. Photo : www.schlot.at.

E-9. ÉGLISES [CHU]

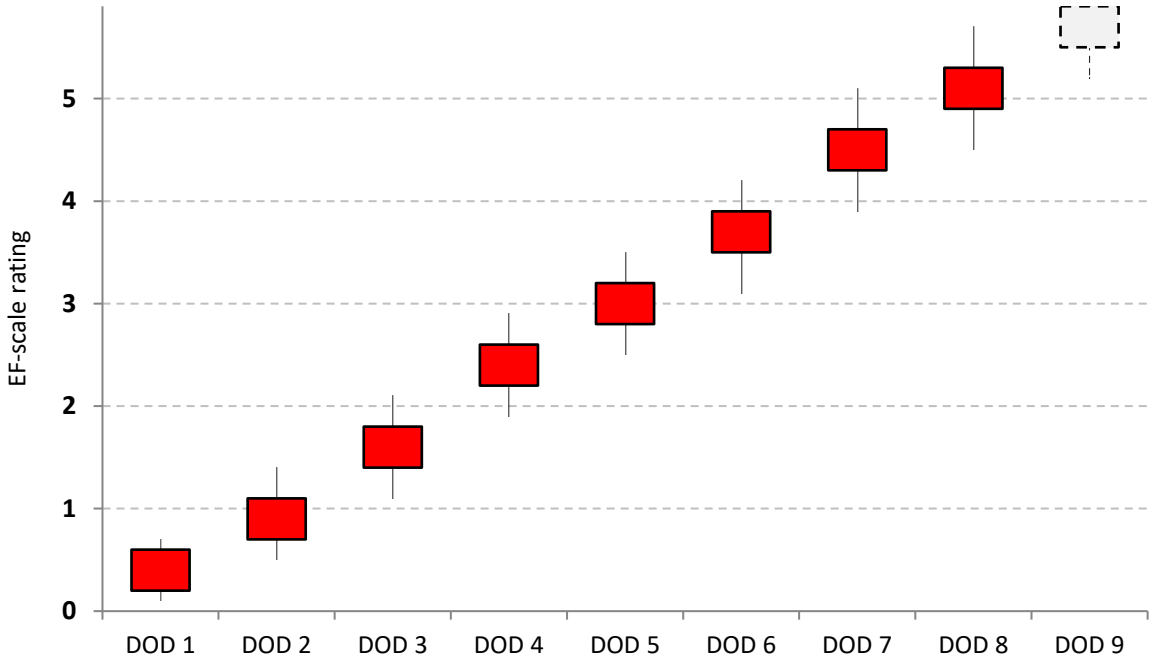
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Eglises paroissiales bâties en dur (pierre, brique, grès, granit) avec nef voûtée, murs épais en maçonnerie lourde ; couverture constituée d'ardoises, de plomb, de cuivre ou de zinc ; charpente complexe ; clocher(s) de plusieurs dizaines de mètres de hauteur.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	premiers dommages visibles : éléments décoratifs endommagés
2	portions limitées de couverture du toit arrachées (<20%)
3	pertes significatives sur la couverture du toit (20-50%) ; légers dommages sur la partie sommitale du clocher; quelques éléments décoratifs en pierre de taille brisés ou enlevés (croix, pignons, statues)
4	chute de la flèche du clocher
5	majeure partie de la couverture du toit arrachée (50-80%), charpente endommagée; murs intacts
6	toiture arrachée à plus de 80% et projetée à distance ; quelques murs effondrés ; dommages sur la structure du clocher
7	toiture totalement arrachée ; nombreux murs effondrés ; clocher en partie détruit
8	clocher en grande partie détruit, très nombreux murs effondrés
9	destruction totale de l'édifice

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- églises en brique seule ou en maçonnerie légère : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD
- bâtiment de petite taille, très ancien, mal entretenu ou endommagé avec nombreux points de faiblesse : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD
- bâtiment très solide et de très grande dimension (cathédrales) : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-9** sans dommages (**DOD 0**) :

E-9 DOD 6 : Tornade d'Oostmalle (Malle, Belgique) du 25 juin 1967. Eglise d'Oostmalle éventrée. Photo : Heemkundige Kring van Malle, RTL Nieuws.

E-9 DOD 8 : Tornade meurtrière du Montello (Italie) du 24 juillet 1930. Eglise de Selva del Montello presque entièrement détruite. Photo : archives Keraunos.

E-10. CHÂTEAUX MÉDIÉVAUX [MECAS]

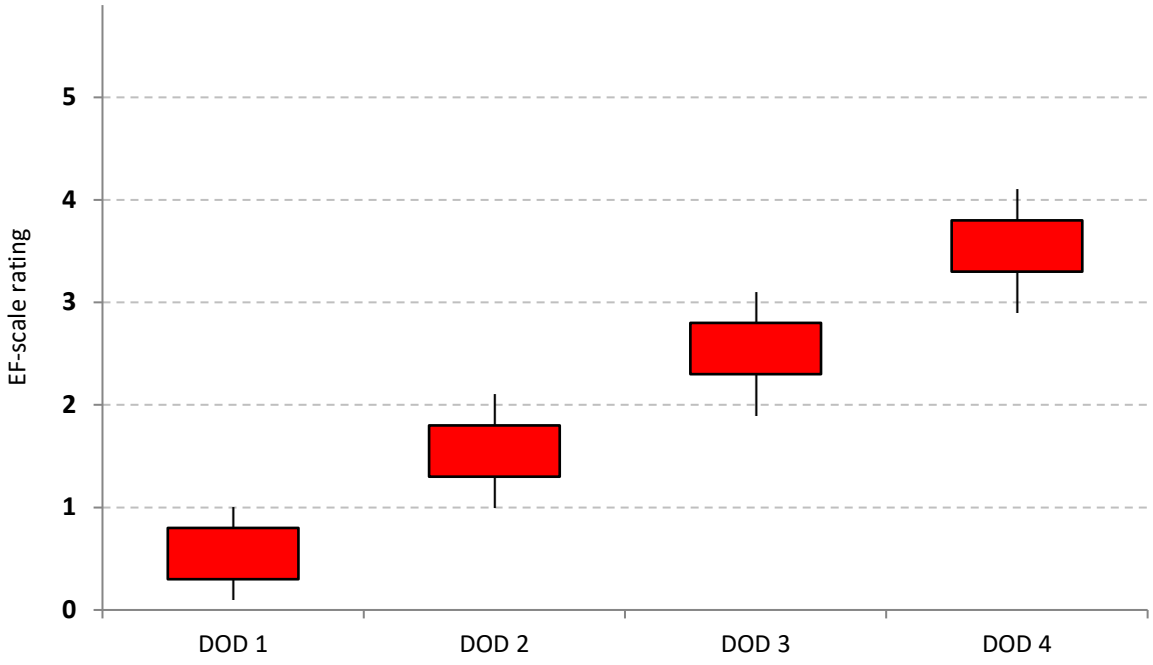
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Châteaux-forts ou forteresses caractérisés par des murs d'une très grande épaisseur en maçonnerie lourde, de rares ouvertures et de rares éléments d'ornementation. Tours, logis et donjons surmontés d'une couverture avec charpente.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	dommages mineurs aux toitures : couverture endommagée à moins de 20%
2	couverture de toit endommagée entre 20 et 50%, chutes de pierres et vitres brisées, structure des bâtiments intacte
3	couverture de toit fortement endommagée (> 50%), quelques dommages aux charpentes, dégâts structurels possibles sur les niveaux supérieurs
4	étages supérieurs endommagés : plafonds et cloisons effondrés, murs lézardés, toitures entièrement arrachées

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- des dommages supérieurs au niveau DOD 4 n'ont jamais été observés ; l'indicateur ne peut donc être renseigné à ce jour jusqu'à la destruction complète du bâtiment

- bâtiment de petite taille, très ancien, mal entretenu ou endommagé avec nombreux points de faiblesse : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD

- bâtiment très solide et de très grande dimension : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-10** sans dommages (**DOD 0**) :

E-11. ÉDIFICES RENAISSANCE ET POSTÉRIEURS [RECAS]

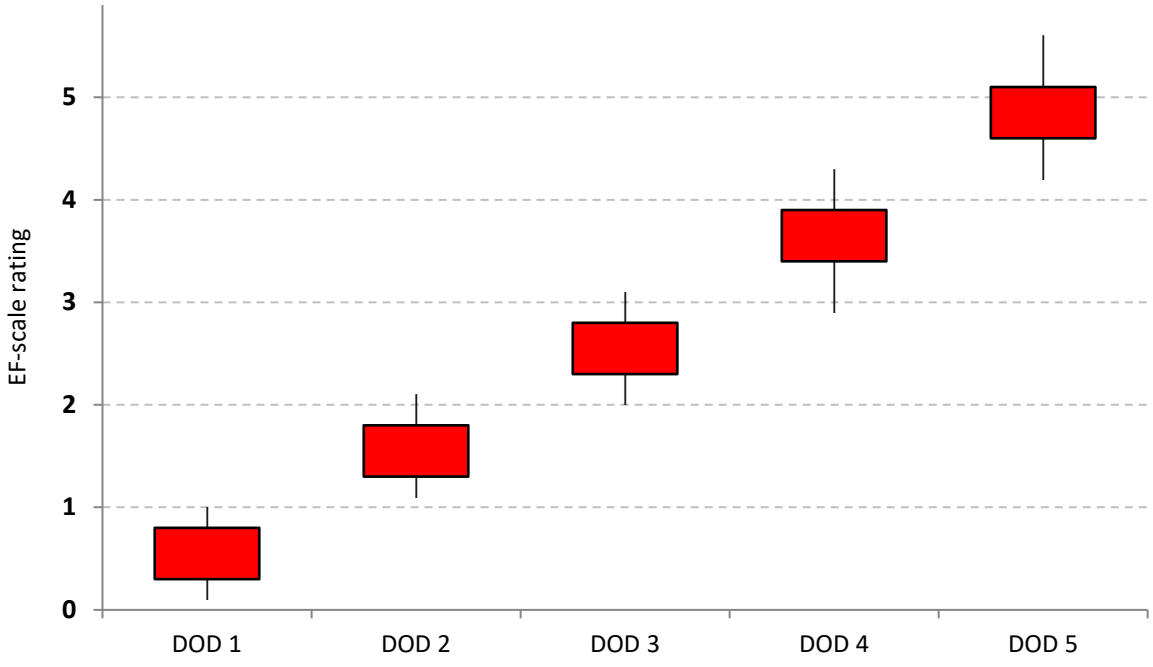
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Vastes constructions (châteaux, manoirs, palais) situées en milieu urbain ou rural, construites à partir de la Renaissance et jusqu'au début du XX^{ème} siècle : édifices élancés et ajourés, nombreuses baies et ouvertures, riches ornementations, tours, pignons, clochetons. Monuments civils de grande envergure, bâtis en matériaux nobles (brique, pierre), murs épais, toitures solides et mansardées : hôtels de ville, palais de justice, anciens hôpitaux ou hospices.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	dommages mineurs, quelques éléments de couverture du toit emportés (< 20%), éléments de décoration parfois détruits ou arrachés
2	couverture du toit endommagée (20 à 50%) mais charpente intacte, cheminées effondrées, vitres brisées, nombreux éléments de décoration et pignons endommagés
3	couverture du toit en grande partie enlevée (> 50%), charpente endommagée, quelques murs extérieurs parfois lézardés
4	toiture arrachée, murs extérieurs lézardés, étages supérieurs endommagés voire éventrés
5	bâtiment en grande partie détruit et effondré, quelques pans de murs restent debout au rez-de-chaussée

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- des dommages supérieurs au niveau DOD 5 n'ont jamais été observés ; l'indicateur ne peut donc être renseigné à ce jour jusqu'à la destruction complète du bâtiment avec ensemble de la structure soufflée

- bâtiment de petite taille, très ancien, mal entretenu ou endommagé avec nombreux points de faiblesse : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD

- bâtiment très solide et de très grande dimension : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD

EXEMPLES

E-11 sans dommages (**DOD 0**) [photo du haut] et **E-11 DOD 5** [photo du bas] : Tornade meurtrière de Mira (Italie) du 8 juillet 2015. Destruction presque totale de la Villa Fini (XVIIe siècle) à Dolo. Photo : auteur inconnu.

E-12. GRANDS BÂTIMENTS À USAGE COMMERCIAL OU RÉCRÉATIF [SMK]

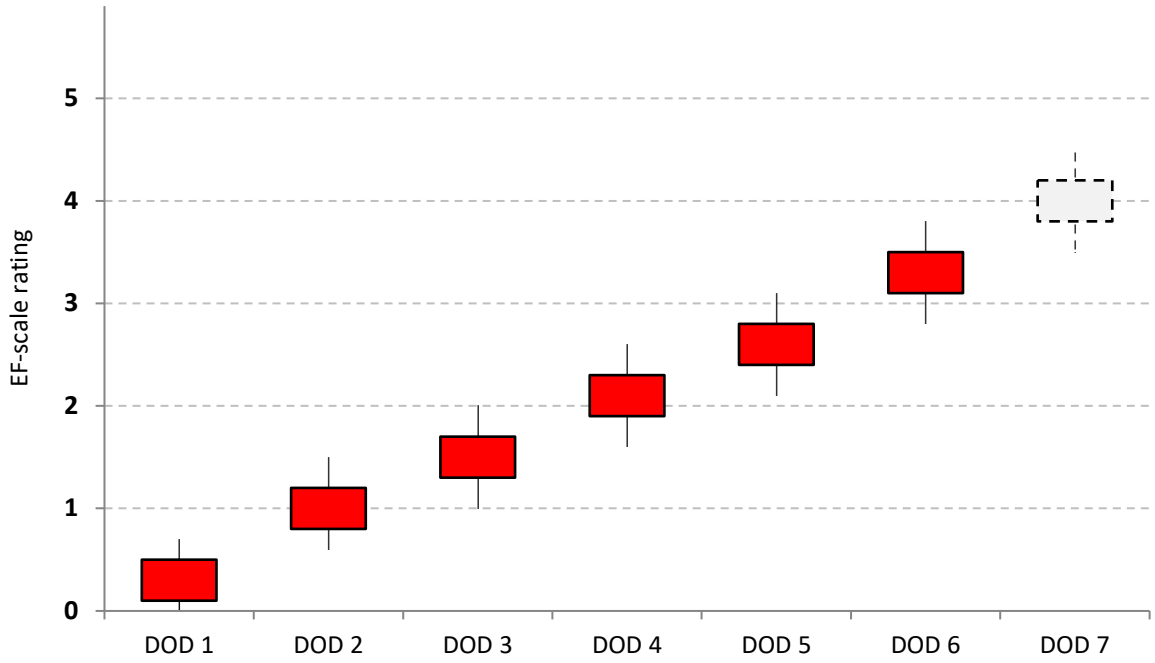
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Bâtiments de grande superficie, à toiture plate, rarement avec étage, habituellement occupés par des supermarchés, magasins d'enseignes spécialisées ou gymnases, et implantés dans des zones industrielles et commerciales. Structure le plus souvent à ossature, avec maçonnerie minoritaire, présentant des murs extérieurs en panneaux de bois, de métal ou de béton, avec bardage, et parois vitrées.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	premiers dommages visibles : quelques éléments de bardage arrachés
2	couverture du toit enlevée (<20%)
3	pertes significatives au niveau des éléments garnissant le toit (20 à 50%), vitrines souvent brisées
4	la majeure partie de la structure du toit est arrachée (> 50%)
5	toiture entièrement soufflée et effondrement d'une partie des murs
6	bâtiment en grande partie détruit, nombreux murs effondrés
7	bâtiment entièrement détruit

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- cet indicateur ne bénéficie pas d'un échantillon d'étude très large ; il pourrait bénéficier de quelques ajustements à l'avenir

- bâtiment de petite taille, ancien, mal entretenu ou endommagé avec nombreux points de faiblesse : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD

- bâtiment très solide et de très grande dimension : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-12** sans dommages (**DOD 0**) :

E-12 DOD 3 : Tornade des Pennes-Mirabeau (France) du 14 octobre 2012. Perte significative des éléments du toit. Photo : D. Dumas / KERAUNOS.

E-13. POTEAUX ET PYLÔNES ÉLECTRIQUES [PYL]

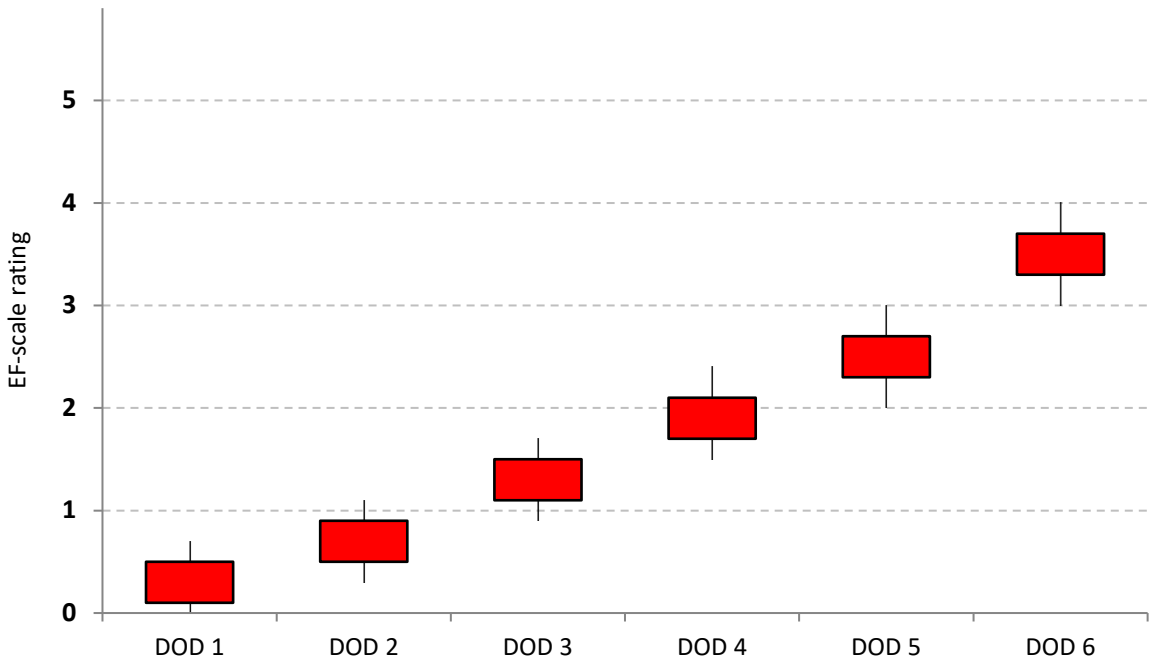
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Poteaux électriques ou pylônes électriques à basse, moyenne et haute tension.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	premiers dégâts visibles (petits débris accrochés aux fils)
2	système de transmission des poteaux basse tension (en bois) brisé, fils électriques à terre
3	poteaux électriques en bois inclinés par le vent ou couchés
4	poteaux électriques en bois brisés
5	poteaux électriques métalliques ou en béton inclinés par le vent ou tordus
6	pylônes à haute tension effondrés ; poteaux en béton brisés

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



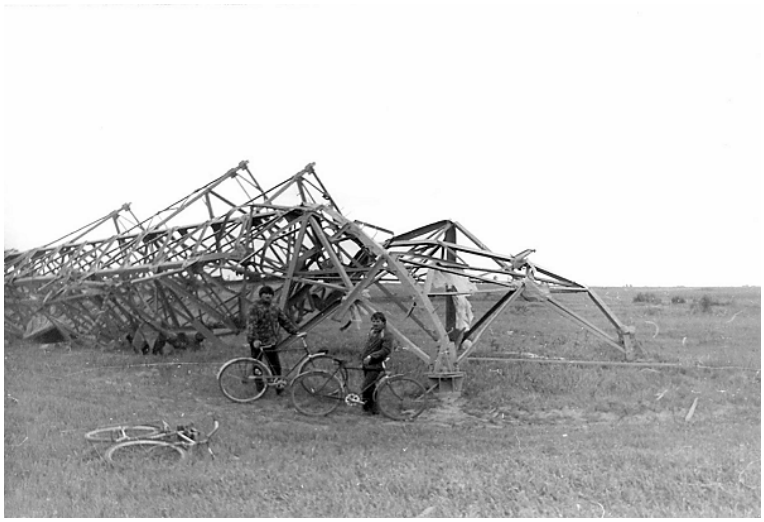
NOTES

- poteau ou pylône mal entretenu ou fragilisé : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD
- poteau ou pylône récent et très solide : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-13** sans dommages (**DOD 0**) :

E-13 DOD 6 : Tornade meurtrière d'Ivanovo (Russie) du 6 juin 1984. Pylône à haute tension effondré. Photo : auteur inconnu.



E-14. RÉVERBÈRES ET CANDÉLABRES [SLA]

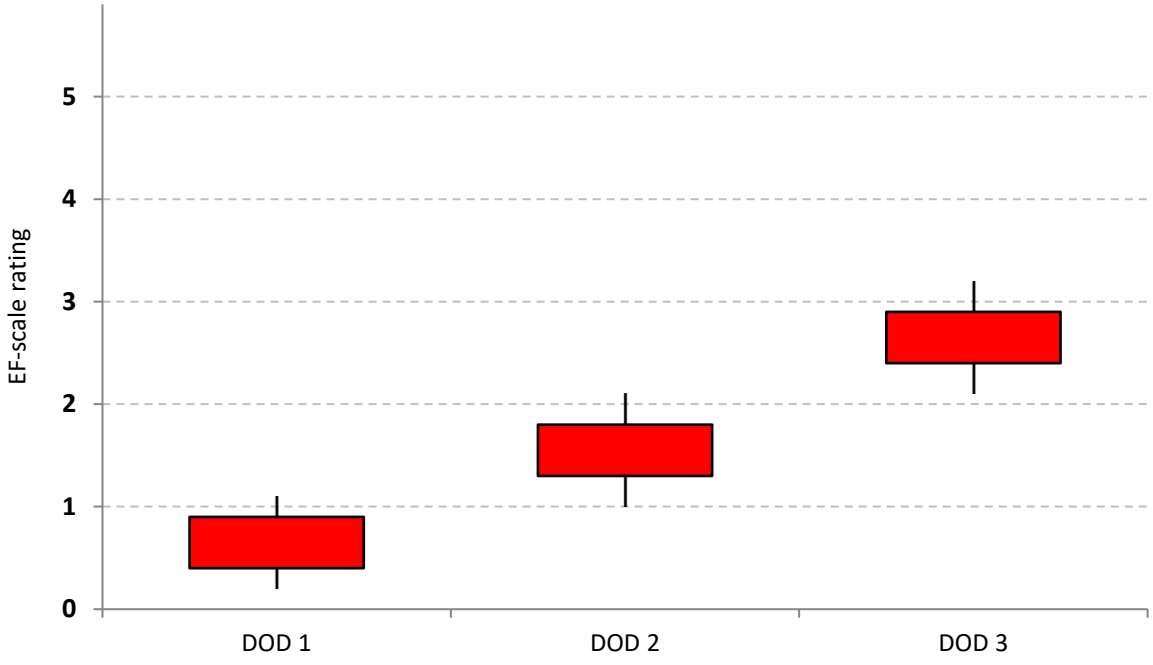
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Réverbères et candélabres avec fût, crosse et luminaires simples ou multiples.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	premiers dommages visibles: luminaire endommagé ou brisé
2	réverbère ou candélabre penché par le vent
3	réverbère ou candélabre tordu, brisé ou arraché

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- réverbère ou candélabre mal entretenu ou fragilisé : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD

- réverbère ou candélabre solide : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-14** sans dommages (**DOD 0**) :

E-15. CHAMPS, POTAGERS, BALLOTS DE PAILLE ET SERRES [AGR]

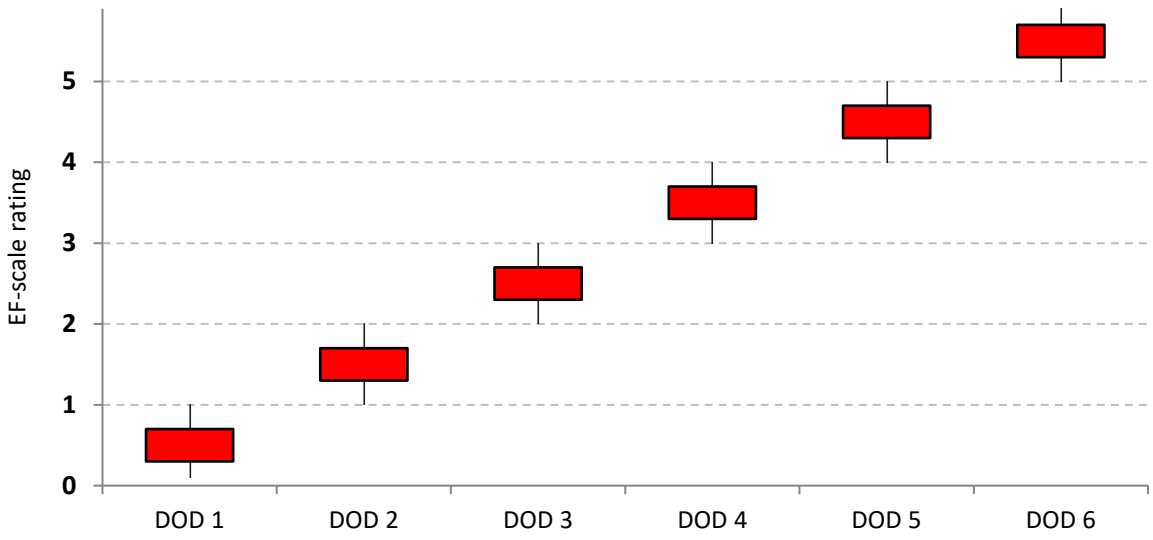
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Composantes du paysage agricole : cultures, jardins, champs, ballots de paille, serres et potagers.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	végétation basse (plantes à fleurs et à fruits) endommagée ou écrasée ; serres avec arceaux et bâche très endommagées ou détruites en grande partie ; structure intacte mais vitres brisées sur les serres bâties en dur (armatures solidement enfoncées dans le sol, couvertures en verre) ; mobilier de jardin parfois retourné ; abris de jardin (type chalets en bois) parfois décoiffés ; plants de maïs faiblement couchés ou entrecroisés sur la trajectoire de la tornade ; dispersion des gerbes, de la paille ou du foin entreposé
2	serres bâties en dur soulevées de terre, avec structure principale pliée ou partiellement détruite et couverture en grande partie détruite ; mobilier de jardin emmené à distance ; abris de jardin décoiffés ou détruits en totalité ; plants de maïs couchés en grande majorité sur la trajectoire de la tornade, avec épis projetés à faible distance ; ballots de paille (roundballers de 300 à 500 kg) déplacés ou retournés, parfois roulés à distance
3	destruction totale des serres bâties en dur avec débris emmenés à grande distance ; plants de maïs totalement couchés sur la trajectoire de la tornade avec formation d'une tranchée et épis projetés à distance ; ballots de paille déplacés, soulevés de terre et emmenés à distance
4	plants de maïs partiellement arrachés, avec épis ou plants entiers projetés à distance ; plants de colza détruits au ras du sol et réduits à l'état de moignons ; ballots de paille emportés à grande distance et dispersés
5	plants de maïs majoritairement arrachés, notamment en présence d'une forte charge de débris au sein de la tornade, avec épis projetés parfois à plusieurs kilomètres de distance
6	champs de maïs dépouillés jusqu'au sol, laissant apparaître les racines ; herbe arrachée du sol

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- l'usage du blé dans cet indicateur n'est pas à ce jour considéré comme pertinent, compte tenu d'une réaction qui s'avère aléatoire face aux tornades.

- certaines tornades ne présentent qu'un faible contact au sol (comme la tornade EF4 du 24 juin 1967 à Pommereuil). Dans ce cas, l'indicateur E-15 ne doit pas être utilisé, car non représentatif de l'intensité maximale du phénomène.

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-15** (serres) sans dommages (**DOD 0**) :

E-15 DOD 2 : Tornade de Hyères (France) du 5 novembre 2017. Serre endommagée. Photo : N. Gascard.

E-16. ARBRES [TRE]

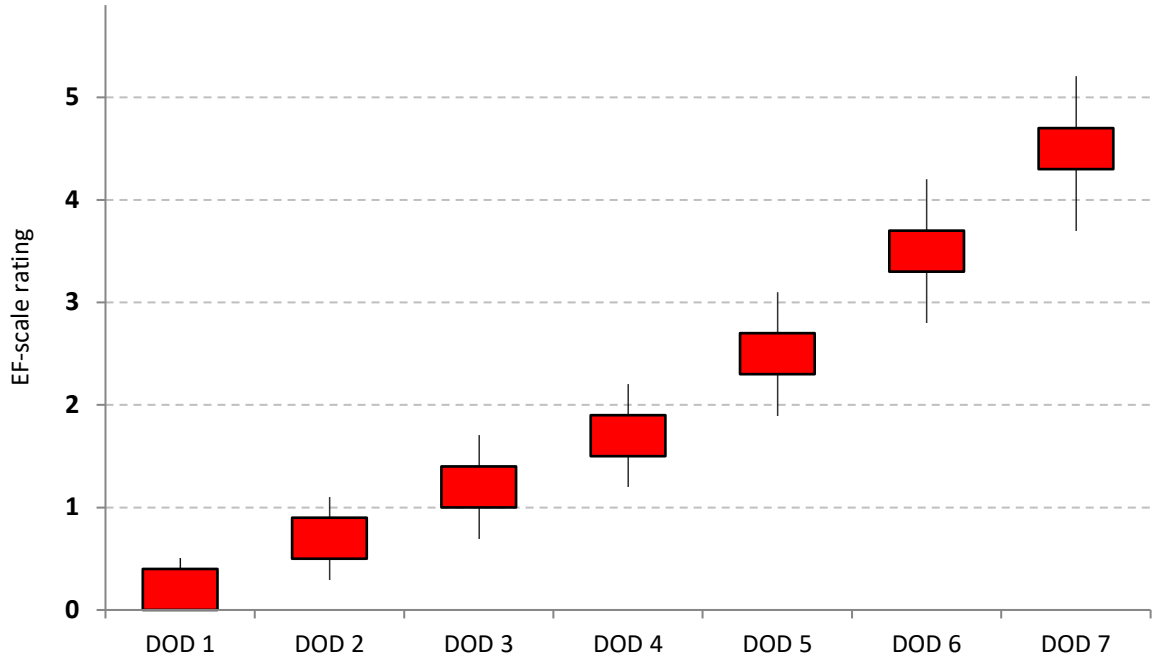
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Arbre sain et non cultivé, feuillu ou conifère, poussant isolément ou en bosquet, enraciné dans un sol naturel et non saturé en eau.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	petites branches cassées, feuilles arrachées ; projections minimes
2	grosses branches cassées ; petites branches emmenées à faible distance (jusqu'à environ 50 mètres)
3	arbres déracinés ; grosses branches emmenées à faible distance (jusqu'à environ 50 mètres) ; les arbres de faible circonférence sont brisés à mi-hauteur
4	arbres déracinés ou brisés ; grosses branches emmenées à distance (jusqu'à environ 100 mètres) ; couronne projetée à très faible distance (jusqu'à environ 10 mètres)
5	arbres majoritairement brisés ; grosses branches emmenées à plus de 100 mètres ; couronnes des arbres ou arbres entiers emmenés à faible distance (jusqu'à environ 50 mètres)
6	arbres dépouillés, seuls subsistent le tronc et la base des plus grosses branches ; branches de toutes tailles projetées à grande distance (jusqu'à plusieurs centaines de mètres) ; couronnes des arbres ou arbres entiers emmenés à distance (jusqu'à environ 100 à 150 mètres)
7	arbres dépouillés, avec écorce arrachée ; couronnes des arbres ou arbres entiers emmenés à grande distance (plus de 150 mètres)

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- remarques quant aux essences :
  - épicéas, sapins : privilégier la fourchette basse pour tous les DOD, sauf configuration spécifique
  - palmiers et cocotiers : privilégier la fourchette haute pour tous les DOD
- remarques quant à l'environnement :
  - arbres fruitiers cultivés : privilégier la fourchette basse pour tous les DOD
  - arbre en parcelles forestières cultivées (peupleraie,…) : privilégier la fourchette basse pour les DOD 4 et 5
  - arbre en milieu urbain, plantés dans un sol en dur (avenues, grands boulevards,…) : privilégier la fourchette basse pour les DOD 4 et 5
  - arbre mûr poussant en forêt mixte non cultivée : privilégier la fourchette haute pour tous les DOD
- remarques quant à l'état de l'arbre :
  - arbres jeunes : privilégier la fourchette basse pour tous les DOD
  - arbre malade : privilégier la fourchette basse pour le DOD 3
  - arbre faiblement enraciné : privilégier la fourchette basse pour le DOD 3
  - arbre dépourvu de feuilles : privilégier la fourchette haute pour les DOD 1, 2 et 3
- remarques quant à l'état des sols :
  - arbre dans un sol saturé en eau : privilégier la fourchette basse pour le DOD 3
- remarque d'ordre général : en cas de conflit entre deux notes contradictoires, utiliser la valeur standard

E-17. VIGNES [VIG]

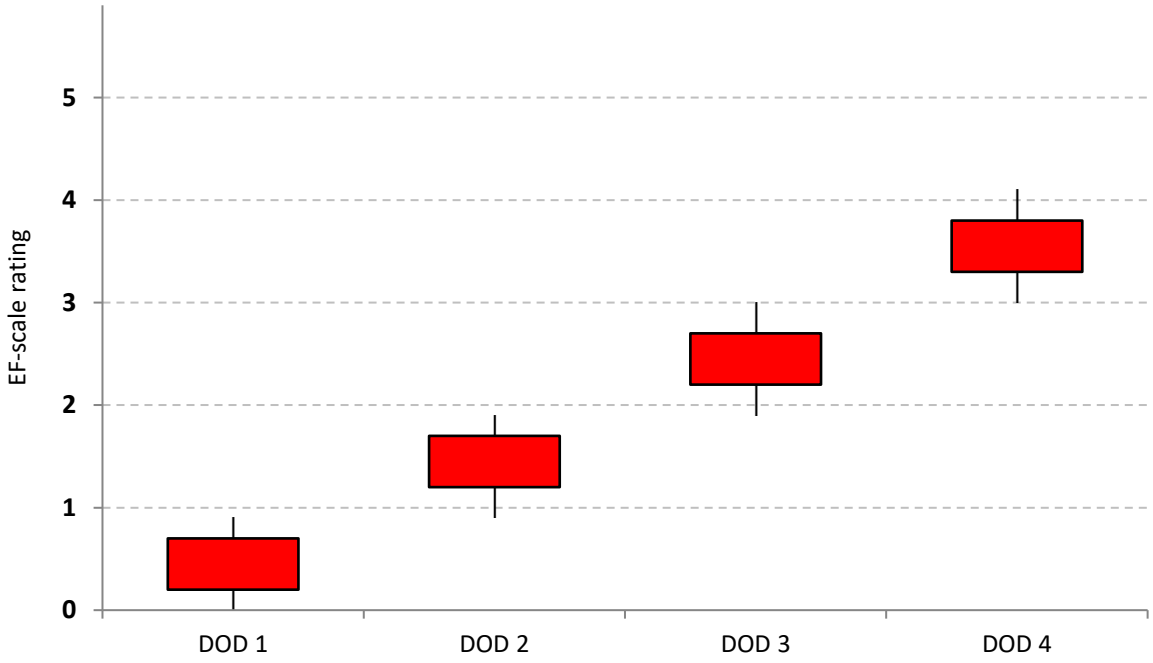
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Vignes adultes cultivées.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	vignes effeuillées et grappes de raisin décrochées des ceps
2	dommages généralisés sur les pieds de vigne ; échalas couchés ou parfois emportés ; quelques ceps inclinés ou couchés
3	nombreux ceps couchés ; échalas emmenés à distance
4	ceps brisés, ou souches arrachées et emmenées à distance

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- vigne fragile et jeune : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD
- vigne robuste et âgée : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD

E-18. CIMETIÈRES [CEM]

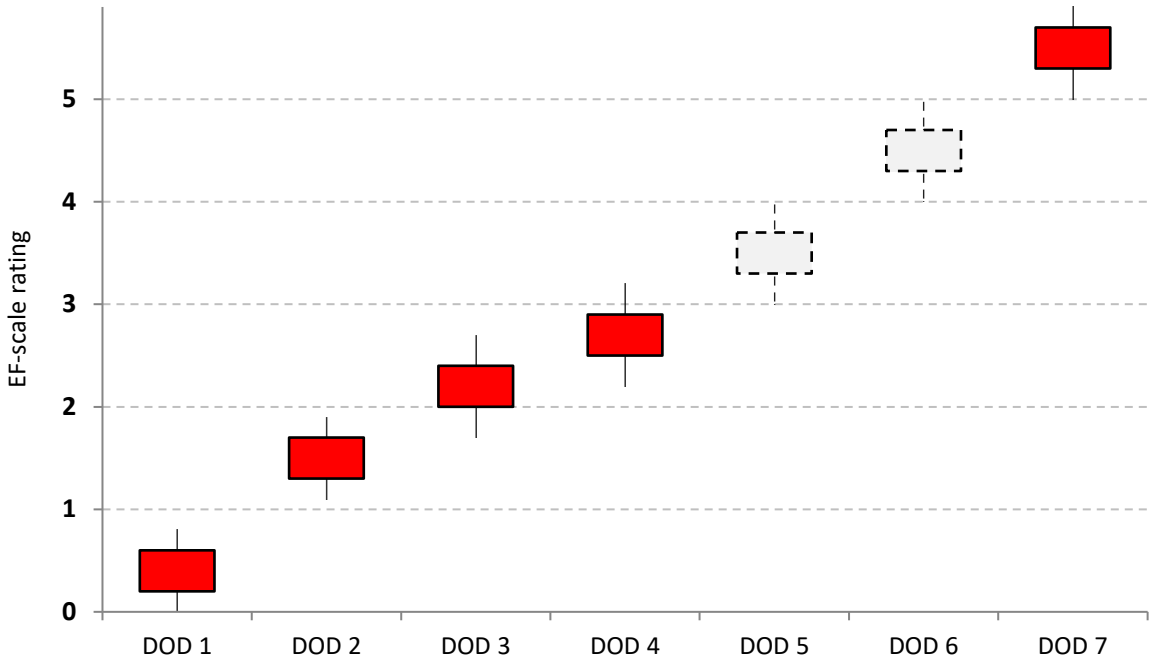
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Pierres tombales, stèles et autres monuments funéraires de faible hauteur et bâtis en dur (marbre, grès, pierre, béton).

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	pas de dégâts visibles sur les tombes ; décorations funéraires emportées
2	croix ou monuments funéraires inclinés ou couchés
3	croix ou monuments funéraires déplacés et/ou brisés
4	certaines dalles soulevées du sol, tombeaux mis à découvert, corps exhumés
5	pierres tombales soulevées du sol et projetées à distance (jusqu'à 50 à 100 mètres)
6	pierres tombales soulevées du sol et projetées à grande distance (100 à 200 mètres)
7	pierres tombales soulevées du sol et projetées à très grande distance (plus de 200 mètres)

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF

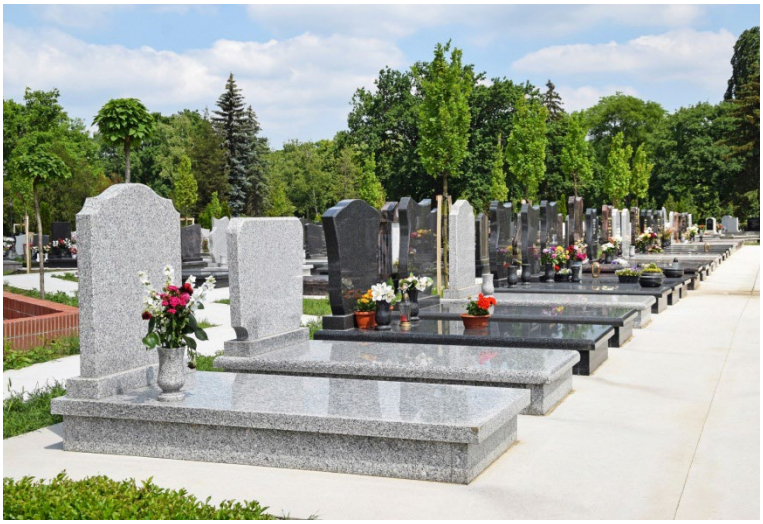


NOTES

- monuments funéraires anciens ou mal entretenus : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD
- monuments funéraires contemporains et en excellent état : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD
- cet indicateur ne s'applique pas aux monuments funéraires complexes (petites chapelles, autels,…)

EXEMPLES

Exemple d'indicateur **E-18** sans dommages (**DOD 0**) :



E-18 DOD 2 : Tornade de Lorris (France) du 5 mars 2017. Stèles couchées. Photo : P. Mahieu, E. Wesolek / KERAUNOS.

E-19. VÉHICULES A MOTEUR [VEH]

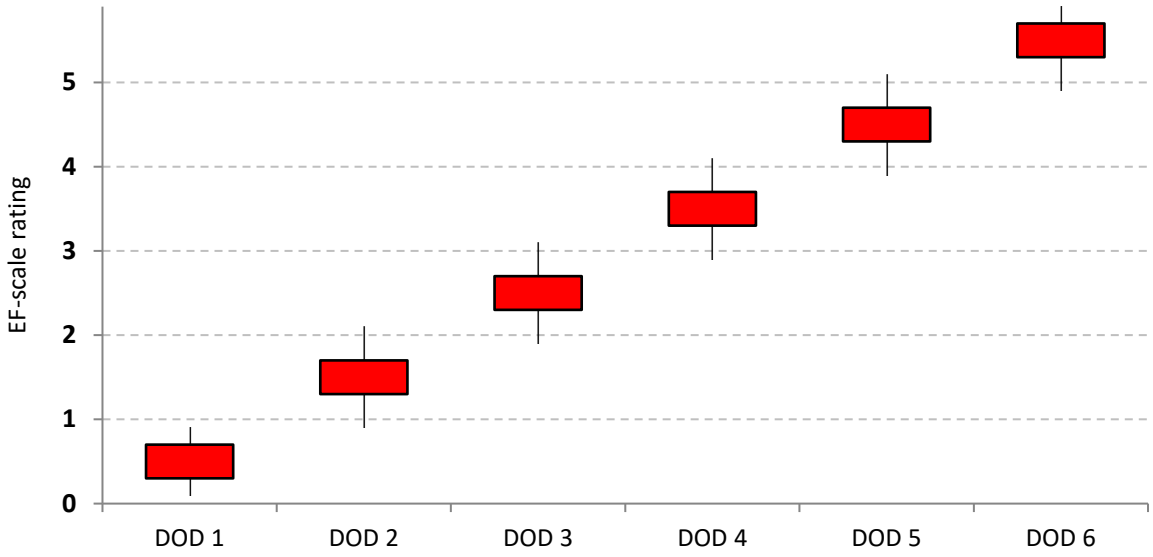
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Véhicules à moteur, en stationnement, quelle que soit leur taille : voitures particulières, camionnettes, pickups, semi-remorques, remorques, camions, bus,…

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	véhicules parfois secoués, mais aucun dommage direct; léger déplacement possible
2	voitures et camionnettes faiblement déplacées; vitres brisées; camions, semi-remorques, bus et autres véhicules de grande taille couchés
3	voitures souvent déplacées, parfois couchées ou retournées; camionnettes renversées ou transportées à faible distance; engins agricoles (plusieurs tonnes) déplacés; semi-remorques parfois soulevées du sol sur de faibles distances
4	voitures et camionnettes déplacées ou retournées; certains véhicules roulés sur le sol, voire soulevés du sol et projetés à distance (moins de 100 mètres généralement); camions, semi-remorques et autres véhicules de grande taille parfois emmenés à des distances supérieures
5	voitures et camionnettes soulevées et projetées à grande distance (100 à 200 mètres le plus souvent); camions, semi-remorques et autres véhicules de grande taille parfois emmenés à des distances supérieures
6	tous les véhicules déplacés et soulevés, souvent transformés en missiles et projetés à très grande distance, généralement à plus de 200 mètres, parfois à plus de 500 mètres; camions, semi-remorques et autres véhicules de grande taille parfois emmenés à des distances considérables (plus d'1 km)

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- véhicule de grande taille, doté d'une très forte prise au vent, ou véhicule léger : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD

- véhicule doté d'une faible prise au vent (profil aérodynamique), ou voiture lourde : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD

EXEMPLES

E-19 DOD 5 : Tornade meurtrière de Pforzheim (Allemagne) du 10 juillet 1968. Véhicules traînés, retournés ou emportés à distance. Photo : Peter Zeller.

E-19 DOD 5 : Tornade meurtrière de Palluel (France) du 24 juin 1967. Véhicule emporté à 60 mètres après avoir survolé une habitation. Photo : Jean Dessens.

E-20. CARAVANES [CRV]

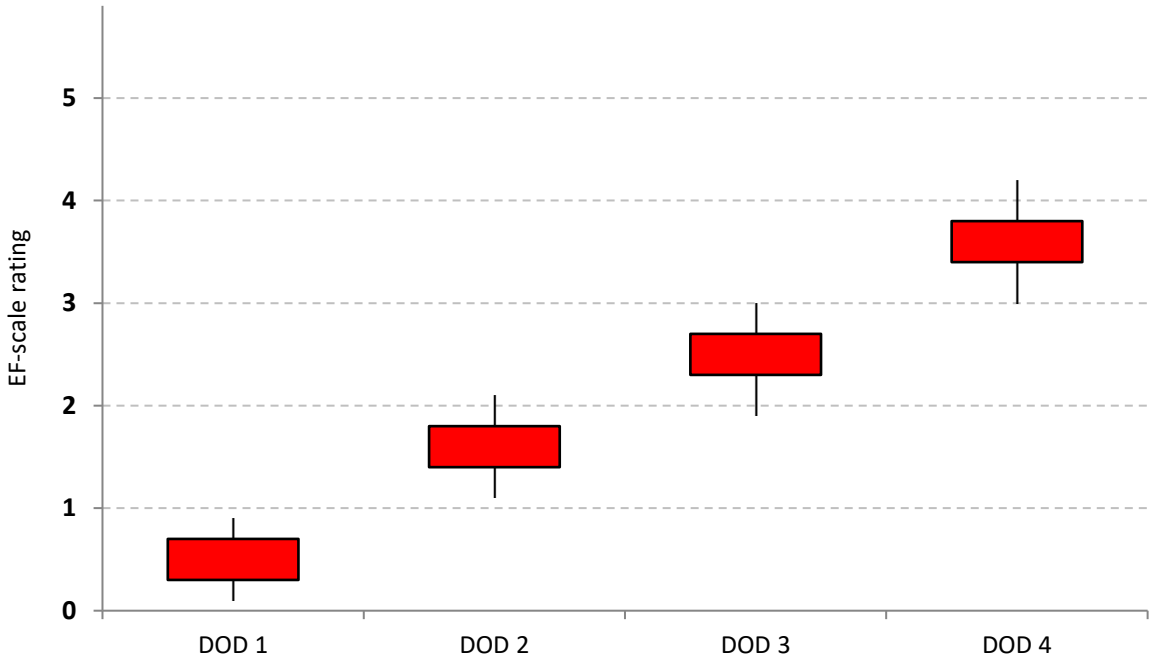
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Caravanes rigides avec poids total en charge compris entre 500 et 800 kg. Modèle de caravane de loisirs le plus répandu (80% des caravanes).

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	caravanes à vide parfois déplacées ; vitres brisées ou hublots descellés sur certaines d'entre elles
2	caravanes à vide traînées au sol, mises sur le flanc, retournées, voire soulevées à faible hauteur ; caravanes chargées déplacées et parfois mises sur le flanc
3	caravanes à vide emmenées à distance et parfois détruites ; caravanes chargées traînées et retournées
4	toutes les caravanes, vides ou pleines, soulevées, projetées à distance et pulvérisées

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- caravanes légères et peu chargées : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD
- caravanes lourdes et très chargées : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD
- cet indicateur ne s'applique pas aux mobil-homes ; utiliser les indicateurs américains 3 et 4 dans ce cas

EXEMPLES

E-20 DOD 3 : Tornade meurtrière d'Ameland (Pays-Bas) du 11 août 1972. Caravanes chargées traînées ou retournées dans un camping. Photo : Archives nationales néerlandaises.

E-21. ÊTRES HUMAINS ET ANIMAUX [LIV]

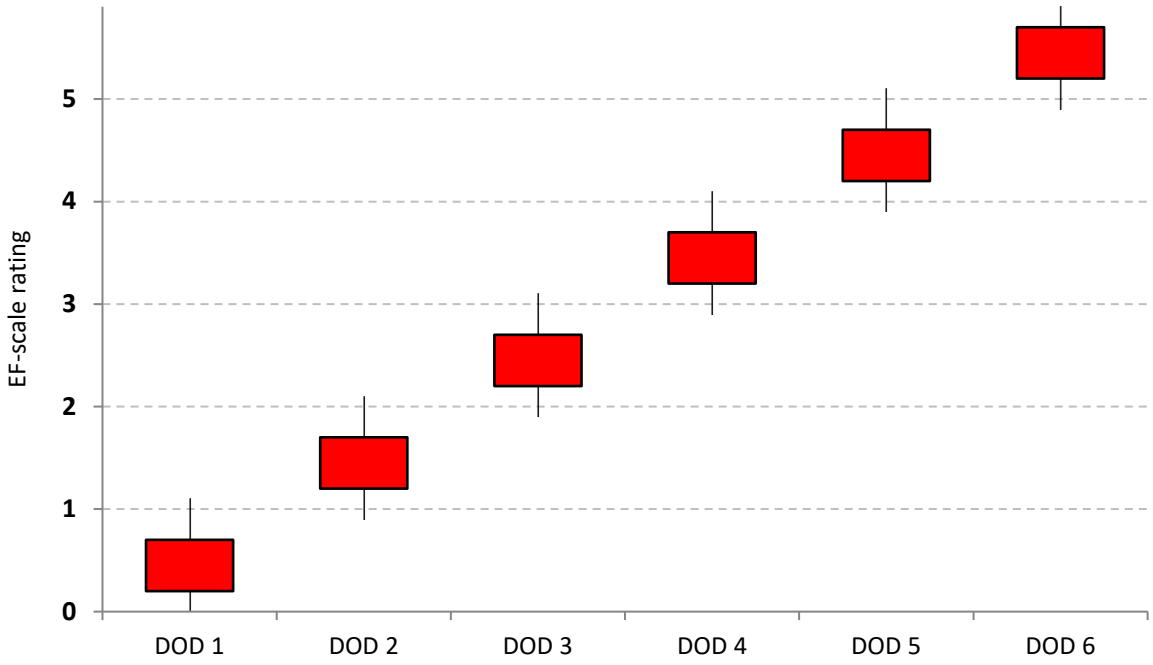
DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Etres humains et animaux.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

DOD	Description des dommages
1	êtres humains adultes et nombreux animaux bousculés mais indemnes ; animaux légers de type volaille généralement renversés ou soulevés du sol.
2	êtres humains adultes traînés ou roulés au sol ; oiseaux parfois blessés ; moutons et animaux de corpulence comparable renversés et très faiblement soulevés du sol ; animaux lourds (chevaux, vaches, ânes,…) bousculés
3	êtres humains adultes soulevés du sol et projetés à faible distance ; oiseaux parfois décapités ; moutons et animaux comparables soulevés du sol et projetés à de faibles distances ; animaux lourds (chevaux, vaches, ânes,…) jetés au sol
4	êtres humains adultes, moutons et autres animaux comparables aspirés et projetés à distance (plusieurs dizaines de mètres) ; oiseaux parfois déplumés et hommes dénudés ; animaux lourds traînés au sol ou emmenés dans les airs
5	êtres humains et tous les animaux, même lourds, aspirés et projetés à grande distance (parfois plus de 100 mètres)
6	êtres humains et tous les animaux projetés à des distances considérables (plusieurs centaines de mètres)

POSITION DES DOD SUR L'ÉCHELLE EF



NOTES

- enfants, animaux de basse-cour, animaux en attelage : utiliser la fourchette basse pour tous les DOD

- animaux très pesants : utiliser la fourchette haute pour tous les DOD

E-22. MAISONS CONTEMPORAINES ET HABITAT ÉCOLOGIQUE

DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Petits immeubles collectifs et maisons à étage, de construction très récente, répondant aux normes environnementales actuelles : structures très solides avec fenêtres de petite dimension, toiture souvent plate, sans charpente.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

Cet indicateur est encore en cours d'étude et d'évaluation. Ce type de construction est trop récent pour disposer d'un référentiel de dommages représentatif.

E-23. HABITAT RÉSIDENTIEL CONTEMPORAIN À PLUSIEURS ÉTAGES

DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Immeubles collectifs de plusieurs étages (typiquement 4 à 8), avec structure à ossature béton.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

Cet indicateur est encore en cours d'étude et d'évaluation. Ce type de construction est trop récent pour disposer d'un référentiel de dommages représentatif.

E-24. ÉOLIENNES

DESCRIPTION DE L'INDICATEUR

Eoliennes modernes classiques tripales, à axe horizontal, non domestiques et généralement regroupées en parcs éoliens.

DEGRÉS DE DOMMAGES (DOD)

Cet indicateur est encore en cours d'étude et d'évaluation. Ce type de construction est trop récent pour disposer d'un référentiel de dommages représentatif.

RÉFÉRENCES

Doswell C., 2009: On the implementation of the enhanced Fujita scale in the USA. *Atmos. Res.*, 93, 554–563.

Environnement Canada, 2013 : Enhanced Fujita Scale Damage Indicators and Degrees Of Damage. http://www.yorku.ca/pat/research/dsills/papers/EF-Scale/EC_EF-Scale_DI-DOD_Guide_e_FINAL.pdf

Fujita T.T., 1971: Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. Satellite and Mesometeorology Research Project Report 91, University of Chicago, 42 pp.

Fujita, T.T., 1981: Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. *J. Atmos. Sci.* 38, 1511–1534.

Groenemeijer P., 2013 : ESSL position on EF-scale. European Severe Storms Laboratory. http://www.essl.org/media/publications/20130920_EFposition.pdf

Mahieu P., **Wesolek** E., 2011: Contribution to an European adaptation of the enhanced Fujita scale: analysis of damage caused by tornadoes in France. Conference paper, European Conference on Severe Storms 2011.

Minor, J. E., J. R. McDonald, and K. C. Mehta, 1977: The tornado: An engineering-oriented perspective. NOAA Tech. Memo. ERL-NSSL-82, 196 pp.

Wind Science and Engineering Center, 2004: A Recommendation for an Enhanced Fujita Scale (EF-Scale). Texas Tech University, 111 p.

Wurman, J., Alexander, C.R., 2005: The 30 May 1998 Spencer, South Dakota, storm. Part II: comparison of observed damage and radar-derived winds in the tornadoes. *Mon. Weather Rev.* 133, 97–119.

UTILISATION DU DOCUMENT - DROITS

Pour tout usage ou citation de la présente étude dans des publications sur Internet ou imprimées, gratuites ou payantes, merci d'indiquer en source :

Tornado Rating in Europe with the EF-scale. P. Mahieu, E. Wesolek, 2016.

Pour contacter les auteurs : contact@keraunos.org

HISTORIQUE DU DOCUMENT

06/10/2011 : présentation publique de 10 premiers indicateurs européens

10/03/2016 : publication détaillée des 21 indicateurs (présent document)

21/01/2018 : diffusion de la publication sur Internet, en versions française et anglaise

© **KERAUNOS** – *Tous droits réservés. Reproduction interdite, même partiellement.*

Mars 2016

KERAUNOS