

Documentation

D 0200

sia

SNARC

**Méthode pour l'évaluation de l'écologie dans les
projets d'architecture**

schweizerischer
ingenieur- und
architektenverein

société suisse
des ingénieurs
et des architectes

società svizzera
degli ingegneri
e degli architetti

swiss society
of engineers
and architects

SNARC

SNARC

Méthode pour l'évaluation de l'écologie dans les
projets d'architecture

schweizerischer
ingenieur- und
architektenverein

société suisse
des ingénieurs
et des architectes

società svizzera
degli ingegneri
e degli architetti

swiss society
of engineers
and architects

selnaustrasse 16
ch 8039 zürich
www.sia.ch

sia

Société suisse des ingénieurs et des architectes
Selnaustrasse 16, case postale, 8039 Zurich

Vignette de couverture: Jörg Hamburger, Dietikon

Impression: Bühler Druck AG, Zurich
Tirage: 500 exemplaires

ISBN 3-908483-79-4

Documentation SIA D 0200

SNARC – Méthode pour l'évaluation de l'écologie
dans les projets d'architecture

Titre original: SNARC – Systematik zur Beurteilung der
Nachhaltigkeit von Architekturprojekten für den Bereich Umwelt

Copyright © 2004 by SIA Zurich

Tous droits, aussi la reproduction partielle,
de même que la restitution partielle ou intégrale
(photocopie, microcopie, CD-Rom etc.), la mise en mémoire
sous forme électronique des données et le droit
de traduction, sont réservés

Nous remercions le département des infrastructures du
canton de Vaud qui a financé la traduction et la mise au
point de la version française

Groupe de projet 'recherche'

Walter Ramseier, architecte FAS/SIA, ZHW (directeur du projet)
Prof. Werner Dubach, architecte FAS/SIA, ZHW
Ueli Kasser, chimiste dipl., écologiste SVU, ZHW
Severin Lenel, architecte HES / ingénieur en écologie HES
Claude Vaucher, architecte SIA/SWB, ZHW
Martin Vogel, architecte EPF/SIA, Service des bâtiments du canton de Berne
Beat Wüthrich, Dr. sc. nat. EPF, Service des bâtiments du canton de Zurich
Judith Wydler, architecte HES, ZHW
Edith Zulauf-Blarer, architecte HES, ZHW
Prof. Hansruedi Preisig, architecte SIA, ZHW (coordinateur du projet)

Groupe de projet 'phase de test'

Prof. Hansruedi Preisig, architecte SIA, ZHW (directeur du projet)
Werner Binotto, architecte FAS, délégué de la SIA et de sa commission SIA 142
Elisabeth Boesch, architecte FAS/SIA, déléguée FAS
Max Bosshard, architecte FAS/SIA, délégué FAS
Martin Hitz, architecte EPF/SIA, architecte de la Ville de St. Gall, délégué des partenaires
Katrin Pfäffli, architecte EPF/SIA (assistante directeur de projet)

Partenaires du projet

Offices des constructions

Département des constructions du canton d'Argovie - Ville de Baden, service de l'aménagement et des constructions - Département des infrastructures du canton de Vaud, service des bâtiments, monuments et archéologie - Office des bâtiments du canton de Bâle-campagne - Office de l'aménagement et des bâtiments du canton de Bâle-ville - Office des bâtiments du canton de Berne - Office des bâtiments du canton des Grisons - Direction des constructions du canton de Glaris - Office des bâtiments du canton de Schaffhouse - Office des bâtiments de la ville de Schaffhouse - Office des bâtiments du canton de St. Gall - Office des bâtiments de la ville de St. Gall - Office des bâtiments du canton de Thurgovie - Office des bâtiments du canton de Zoug - Office des bâtiments du Grand-duché du Liechtenstein - Service d'écologie de la ville de Zoug - Office des bâtiments du canton de Zurich - Office des bâtiments de la ville de Zurich

Offices fédéraux

Office fédéral du logement OFL - Office fédéral de l'énergie OFEN

Associations

Société suisse des ingénieurs et des architectes SIA - Centre suisse pour la rationalisation du bâtiment CRB

Particuliers

Göhner Merkur AG Zürich - ABB Immobilien AG Baden

Hautes écoles

ZHW Haute école spécialisée zurichoise de Winterthur, Centre pour la conception, la planification et la construction durable

Groupe de travail pour la version française

Pierre Rittmeyer, architecte dipl. SIA
Catherine Brunner, traductrice
Christophe Mercier, architecte EPF SIA (coordination et supervision)

Contact / téléchargement

Prof. Hansruedi Preisig, e-mail: preisig@hansruedipreisig.ch
comme document pdf sous www.nachhaltiges-bauen.ch/forschung/snarc
www.eco-bau.ch

Préface	7
Développement durable	8
Résumé	10
I / SNARC dans le concours d'architecture	13
<hr/>	
1. Principes de la méthode SNARC	13
2. Préparation	14
2.1 Types de concours	14
2.2 Programme	14
2.3 Documents demandés	16
3. Examen préalable	16
3.1 Organisation	16
3.2 Application des critères	16
3.3 Synthèse et communication des résultats	16
4. Jugement	17
II / Critères	19
<hr/>	
Résumé (tableau récapitulatif)	19
Remarques	20
1. Terrain	21
1.1 Surfaces vertes	21
1.2 Régime des eaux	22
2. Ressources	23
2.1 Ressource pour terrassements et aménagements extérieurs	23
2.2 Ressources pour le gros œuvre	24
2.2.1 Bâtiments neufs	24
2.2.2 Rénovations	26
2.3 Ressources pour l'exploitation	27
3. Qualité à l'utilisation	28
3.1 Structure porteuse	28
3.2 Installations techniques	28
3.3 Enveloppe du bâtiment	29
3.4 Protection solaire en été	29
3.5 Protection contre le bruit	30

III / Références de base	31
<hr/>	
1. Le modèle du 'cycle de vie'	31
2. Tranche de vie considérée	33
3. Valeurs de référence pour l'application des critères	34
3.1 L'énergie grise	34
3.2 Construction	36
3.2.1 Ressources pour les terrassements et aménagements extérieurs	36
3.2.2 Ressources pour le gros œuvre	36
3.2.3 Exploitation	40
4. Autres valeurs de référence	41
4.1 Aménagements intérieurs	41
4.2 Rénovation de façades	41
4.3 Changements d'affectation	41
4.4 Installations techniques	42
IV / Annexe: tableaux	43
<hr/>	
1. Remarques préliminaires	43
2. Bâtiments neufs	43
3. Rénovations	50

Note de la commission SIA 142

Suite à la révision de SNARC, la commission SIA 142 pour les concours d'architecture et d'ingénierie reconnaît que la méthode a pu être bien simplifiée. Elle offre aujourd'hui un bon instrument de comparaison pour l'appréciation de projets dans leur phase de conception.

Toutefois, un but essentiel de cette commission est de promouvoir des concours 'légers' - une nécessité si l'on veut que la pratique conserve cet instrument. Craignant que l'application de cette méthode, même allégée, n'entraîne une charge accrue pour les participants et l'organisateur, elle invite les juges des concours d'architecture à examiner, de façon critique, l'application de SNARC et des critères prévus et, le cas échéant, d'établir les données nécessaires aux calculs dans le cadre de l'examen préalable.

Commission SIA pour les concours d'architecture et d'ingénierie
Zurich, septembre 2004

Note de l'équipe de traduction

Les traducteurs se sont efforcés de trouver des formulations simples et parlantes. Les répétitions, si courantes en allemand, ont été, dans la mesure du possible, supprimées afin que la lecture soit plus aisée.

La nomenclature a été contrôlée et diffère parfois de la première version 'SNARC phase de test' disponible en français depuis l'été 2002.

C'est ainsi que le titre de la version définitive 'Systematik zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Architekturprojekten für den Bereich Umwelt' est devenu 'Méthode pour l'évaluation de l'écologie dans les projets d'architecture'.

Le terme 'Lebenszyklusmodell' a été utilisé en allemand pour nommer un modèle intégrant à l'analyse écologique la construction et les 30 premières années d'exploitation. Il ne représente en fait qu'une tranche du cycle de vie de l'immeuble. Nous l'avons noté 'cycle de vie' pour mettre en évidence qu'il est pris dans un sens restrictif, puisqu'il ne comprend ni la suite de l'exploitation, ni la déconstruction en fin de vie du bâtiment.

Préface

SNARC est une méthode pour l'évaluation des aspects d'écologie, applicable dans les concours d'architecture. Elle a été développée à la HES de Winterthour dans le cadre d'un programme de recherche appliquée, co-financé et accompagné par des maîtres d'ouvrage publics et privés, la SIA et le CRB. La Commission pour la technologie et l'innovation de la Confédération (CTI) l'a financée.

Après la présentation, en été 2001, de la première version complète de SNARC, la SIA et la FAS ont exprimé des réserves au sujet de ce projet. Les deux associations professionnelles craignaient que les critères du développement durable portent atteinte à la qualité urbanistique ou architecturale des projets de concours et surchargent inutilement le travail demandé aux participants. En réponse à ces réserves, la version initiale de SNARC a été mise à l'essai pendant deux ans par une équipe comprenant, outre ses auteurs, des délégués des partenaires du projet et des deux associations professionnelles.

Durant la phase d'essai, environ 200 projets ont été appréciés dans le cadre d'une trentaine de concours d'architecture et de mandats d'étude parallèles. La méthode a démontré son utilité; elle n'a ni réduit la diversité des solutions proposées, ni restreint la liberté créatrice des concepteurs. Mais il a également été constaté qu'il fallait en simplifier ou préciser certains points.

Les auteurs ont entrepris la révision dans le but de ne conserver que les critères significatifs pour la phase de conception, et susceptibles d'être évalués au moyen des données disponibles à ce stade. Leur nombre a été fortement réduit. Les critères du domaine de l'appréciation ne sont plus quantifiés, mais jugés qualitativement.

L'étendue des choix possibles, et leurs implications pour l'environnement, sont sans conteste plus grands dans les premières phases du projet d'un bâtiment. SNARC, sous sa forme révisée, est un instrument efficace et éprouvé pour l'évaluation de projets à ce stade. Son application aboutit sur des appréciations objectives et reproductibles lors de l'examen préalable de concours et de mandats d'études parallèles, ou plus généralement, quand il s'agit de comparer des projets d'architecture.

Prof. Hansruedi Preisig, directeur du projet
Winterthour, septembre 2004

Développement durable

L'exigence que les aspects du développement durable soient systématiquement évalués se fait de plus en plus sentir. Tout en étant largement utilisée et discutée, la notion de développement durable reste floue. Il est cependant admis que, pour qu'un choix soit 'durable', ses aspects relatifs à la société, à l'économie et à l'écologie doivent tous être pris en compte de façon équilibrée.

Au sommet de la terre de Rio de Janeiro en 1992, les 181 Etats signataires ont souscrit à la Déclaration de Rio et adopté l'Agenda 21, plan d'action pour un développement durable. Les exigences de l'Agenda 21 s'adressent en premier lieu aux acteurs de la politique internationale, en ce qui concerne, par exemple, la lutte contre la pauvreté. Au niveau des maîtres de l'ouvrage et des auteurs de projets, les possibilités d'action dans le sens de l'Agenda 21 se limitent à économiser des ressources et à préserver la diversité biologique. Les répercussions qu'ont la construction et l'exploitation de bâtiments dans ces domaines sont cependant évidentes.

Les exigences de l'Agenda 21 dans les domaines social et économique visent les problèmes d'équité, de répartition des ressources et de partenariat, aux niveaux global et national, et les relations entre le nord et le sud. Si la modification de nos habitudes de consommation et la protection de la santé, deux parmi ces exigences, peuvent être concernées par un projet de construction, il n'est par contre guère pensable que la manière de construire en Suisse puisse directement promouvoir le partenariat avec des peuples indigènes.

Les possibilités de répondre aux exigences du développement durable, dans leur définition originale, sont donc limitées dans le contexte d'un concours d'architecture. Nous utilisons néanmoins cette notion pour la méthode SNARC, pour les raisons suivantes:

- La méthode permet de saisir de façon complète, systématique et précise les données environnementales d'un projet (critères écologiques), dans la mesure où elles peuvent l'être au stade du concours.
- L'application de SNARC permet de comparer les projets du point de vue du développement durable, dans le domaine de l'environnement (écologie). Il appartiendra toutefois au jury d'assumer la difficile tâche d'une évaluation globale et pondérée.

La définition des critères de SNARC est basée sur les principes suivants:

- Les critères utilisés relèvent exclusivement du domaine du bâtiment. Les organisateurs de concours d'architecture aussi bien que les participants pourront ainsi se concentrer sur leur tâches usuelles d'architectes. Il suffira de connaître les notions de base décrites dans la partie II / Critères.

- L'application de SNARC ne doit pas exiger, de la part du participant au concours ou au mandat d'étude parallèle, l'élaboration de justificatifs supplémentaires pour l'évaluation de son projet. Les plans et autres documents usuellement demandés dans les concours sont en règle générale suffisants.
- La méthode comporte uniquement des critères ayant un rapport direct avec des effets sur l'environnement qui peuvent être saisis et analysés. Si, par exemple, de graves contaminations du sol et des eaux résultent de l'extraction de chrome en Amérique latine, il ne sera pas possible d'en tenir compte dans le cadre d'un concours de projet en Suisse, d'autant moins que l'étendue de ces atteintes est encore insuffisamment connue.
- Le méthode n'utilise que des critères qu'il est possible d'appliquer au niveau du concours de projet. Même si les possibilités de recyclage ou l'élimination d'un bâtiment en fin de vie sont écologiquement significatives, leur évaluation n'est pratiquement pas faisable à ce stade: les matériaux et leurs quantités respectives, les possibilités de les réutiliser et les procédés pour les éliminer définitivement ne pourront être définis qu'ultérieurement. Il en est de même pour les risques de pollution à l'intérieur des locaux qui dépendent, eux aussi, du choix ultérieur de matériaux et produits ainsi que de la qualité de la mise en œuvre.
- En vue de l'évaluation globale équilibrée du projet, les critères sont définis de sorte à éviter des surpondérations. Par exemple, la compacité de la forme du bâtiment et les besoins en ressources pour son enveloppe influencent les mêmes types d'impacts sur l'environnement. L'imputation cumulée de ces deux critères mènerait à les pondérer trop lourdement.
- Les critères prennent en compte la première tranche limitée à 30 ans du 'cycle de vie' du bâtiment. Même si la durée de vie effective du gros œuvre devrait généralement être supérieure, cette option est justifiée par le principe de causalité et de précaution: si le maître de l'ouvrage assume, en tant qu'initiateur, la responsabilité d'ensemble pour les charges environnementales causées par son projet, il n'y a pas lieu d'en répercuter une partie sur les générations futures (cf. partie III / Références de base, chap. 2).
- La méthode SNARC est conçue de sorte à ne pas porter préjudice à la diversité des partis architecturaux attendue dans les concours.

Résumé

SNARC s'adresse à tous les acteurs de concours d'architecture et de mandats d'étude parallèles qui souhaitent contribuer au développement durable dans le cadre de leur mandat. A travers une longue et riche tradition, le système des concours en vigueur en Suisse a permis d'élaborer et d'affiner un ensemble d'instruments éprouvés pour l'appréciation des qualités urbanistiques, architecturales, fonctionnelles et économiques de projets. Pour l'évaluation du développement durable, critère plus récent qui englobe les aspects relatifs à la société, l'économie et l'environnement, la création de tels instruments en est encore à ses débuts. La méthode SNARC traite de l'aspect environnemental, appelé aussi écologique, et contribue ainsi à la création d'ouvrages qui par leur conception de base et flexibilité ne demandent que peu de ressources et n'engendrent que des charges environnementales réduites.

Partie I / SNARC dans le concours d'architecture

Cette partie explicite les critères de la méthode SNARC et définit les procédés pour l'organisation et le jugement de concours de projet et de mandats d'étude parallèles dans lesquels la méthode est appliquée. L'objectif est de promouvoir des bâtiments ménageant l'équilibre naturel et économiques en matières et énergies pendant leur cycle de vie tout en offrant une haute qualité à l'utilisation. La méthode est utilisable pour tous les types usuels de bâtiments. On trouvera dans la partie I des propositions pour la formulation des critères à intégrer dans les programmes de concours et pour l'organisation de l'examen préalable, ainsi que des commentaires sur les implications pour les participants aux concours dans lesquels SNARC est appliqué. Enfin, les membres de jurys sont préparés à évaluer et à juger selon le concept du développement durable, en utilisant l'instrument présenté dans ce document.

Partie II / Critères

Le noyau de la partie II est la définition des 10 critères, décrits selon un modèle unifié et rassemblés dans les domaines 'terrain', 'ressources pour la construction et l'exploitation' et 'qualité à l'utilisation'. La signification de chaque critère est expliquée en quelques phrases, après une note d'introduction qui en clarifie la terminologie et définit les limites de système. Pour la saisie des résultats de l'évaluation, tous les critères font l'objet d'instructions claires, complétées par des aides graphiques. Les deux critères du groupe 'terrain' saisissent une part de surface en %, les trois critères du groupe 'ressources pour la construction et l'exploitation' sont exprimés en quantités d'énergie en GJ (gigajoules) et les cinq critères définissant la qualité à l'utilisation sont évalués de façon qualitative. Les critères s'expliquent par eux-mêmes; ils sont définis de sorte à pouvoir être aisément compris et utilisés autant par les participants au concours que par l'expert en charge de l'examen préalable.

Partie III / Références de base

Cette partie réunit quelques informations de base à l'intention du lecteur intéressé. Les critères quantitatifs se réfèrent au modèle de 'cycle de vie' d'un bâtiment. Pour l'évaluation simple dans le cadre du 'cycle de vie', au stade du concours, il est nécessaire de pouvoir appliquer des valeurs de référence représentatives. La formulation de ces valeurs, tirées d'analyses approfondies de bâtiments, est décrite pour chacun des critères utilisés. Les valeurs de référence tiennent compte de la consommation d'énergie pour la construction (extraction, transport et production des matériaux de construction) et pour l'exploitation (demande en énergie primaire pour le chauffage) pendant les 30 premières années de la vie d'un bâtiment. L'indicateur utilisé pour mesurer la charge environnementale est l'énergie grise, ce qui permet d'évaluer globalement l'ensemble des impacts résultant de la consommation de matières et d'énergies. Sans être expressément prévus dans le modèle présenté, des cas particuliers comme, par exemple, la rénovation des façades ou les changements d'affectation d'un bâtiment peuvent également être pris en considération.

Partie IV / Annexe : tableaux

Les tableaux annexés contiennent des valeurs de référence pour l'énergie grise, destinées aux réflexions de plausibilité pendant l'examen préalable. Ils permettent de calculer ad hoc des valeurs de référence dans des cas particuliers. Pour des évaluations plus détaillées, il sera cependant nécessaire de disposer de spécifications constructives plus précises.

I / SNARC dans le concours d'architecture

1. Principes de la méthode SNARC

L'application de SNARC ne demande pas de connaissances professionnelles spécifiques: tous les critères utilisés relèvent du domaine du bâtiment. Le concepteur peut évaluer lui-même les performances atteintes et ainsi situer son projet. Sans demander aux participants aux concours des prestations supplémentaires, SNARC fait appel à la faculté des architectes de comprendre, en plus des contraintes de conception habituelles, les relations complexes entre forme, orientation, organisation des espaces et impact environnemental, et de les optimiser dans leurs projets. Il s'est avéré pendant la phase de test que l'introduction des critères SNARC n'a ni attenté à la liberté des concepteurs, ni réduit la diversité des solutions proposées, recherchées dans les concours. Il n'est pas à exclure que des critères de SNARC entrent en conflit avec d'autres exigences du projet. Par exemple, la meilleure utilisation de l'éclairage naturel n'est pas toujours compatible avec une forme compacte. Pour qu'un projet soit bon du point de vue de l'écologie, il faudra rechercher des compromis intégrant et pondérant au mieux l'ensemble des paramètres, ceux de l'environnement aussi bien que ceux relevant de la fonction spécifique du bâtiment. Les critères de la méthode SNARC aident à promouvoir la réalisation de bâtiments présentant, par ordre de priorité décroissant, un indice d'utilisation favorable, une conception économe en énergie, une forme compacte et une grande flexibilité.

1. L'indice d'utilisation du bâtiment exprime la quantité de surfaces et de volumes nécessaires pour satisfaire un besoin donné. Plus ce facteur est bas, moins on consommera de matériaux de construction et d'énergie pour le chauffage et l'éclairage, entre autres avantages. La meilleure utilisation possible des volumes et des surfaces, en d'autres termes, la 'densification', est ainsi bénéfique dans de nombreux domaines de l'environnement.
2. De nombreuses études convergent sur le constat que c'est généralement l'énergie pour l'utilisation (chauffage) qui cause les plus lourdes charges sur l'environnement pendant le cycle de vie d'un bâtiment. Le postulat de 'construire économe en énergie' se justifie d'autant plus que la consommation prévisible peut être fortement influencée au stade de la conception, particulièrement lors de rénovations.
3. La quantité d'énergie grise nécessaire pour la production des matériaux et pour la mise en œuvre d'une nouvelle construction, et les impacts environnementaux correspondants, ont un poids d'égale importance dans la première tranche de vie de 30 ans. Plus la forme du bâtiment est compacte, c'est-à-dire plus la surface de l'enveloppe est petite pour un volume donné, moins on consommera d'énergie grise.

4. L'expérience montre que les changements d'affectation de bâtiments deviennent plus fréquents. Devant cette tendance, il n'est guère possible aujourd'hui de prédire les besoins futurs résultant de nouvelles technologies ou du changement des conditions de travail ou d'habitation. Il en résulte le postulat de flexibilité, et l'exigence que des composantes du bâtiment aux durées de vie divergentes soient dissociées de sorte à pouvoir être remplacées ou modifiées séparément. Plus le changement d'affectation d'un bâtiment est difficile à réaliser, plus lourdes seront les conséquences pour l'environnement.

2. Préparation

2.1 Types de concours

Les critères d'évaluation de SNARC sont conçus pour être appliqués en premier lieu dans des concours de projet selon le Règlement des concours d'architecture et d'ingénierie, SIA 142, et dans des mandats d'études parallèles. Certains des critères peuvent déjà être utilisés au niveau de concours d'idées portant sur des avant-projets. Pour les concours portant sur les études et la réalisation, des examens détaillés complémentaires seront à priori nécessaires pour les critères que SNARC ne couvre pas.

Une couverture aussi large que possible des types ou catégories de bâtiments a été recherchée. Tous les types de bâtiment mis au concours par les maîtres de l'ouvrage publics et institutionnels peuvent être évalués au moyen des critères présentés, soit les nouvelles constructions et les réhabilitations de bâtiments administratifs et commerciaux, écoles et salles de sport, bâtiments à usages multiples et halles d'exposition, ateliers, bâtiments des services d'intervention, prisons, bâtiments à vocation culturelle, hôpitaux et EMS, mais également les bâtiments d'habitation. Pour certains types très particuliers de bâtiments comme les piscines couvertes, il faudra adapter les critères SNARC en conséquence.

Dans certains cas limites, il appartiendra à l'organisateur du concours de vérifier, d'entente avec le jury, si les critères SNARC sont suffisamment précis et représentatifs. Il est évident que tous les critères ne sont pas nécessairement applicables dans tous les contextes. La sélection des critères dépend du thème et du contexte du concours. Elle se fera pendant la phase de préparation, par l'organisateur en collaboration avec l'expert et le jury.

Il est donc tout à fait envisageable que l'organisateur développe des critères complémentaires spécifiques, voire adapte des critères donnés.

2.2 Programme

Le règlement SIA 142 pour les concours d'architecture et d'ingénierie demande à l'organisateur de définir, en plus de l'objet du concours, les 'domaines spécialisés' à traiter. Les exigences écologiques en font partie; elles doivent être formulées dans des termes relevant du domaine du bâtiment. Il y a lieu d'éviter des phrases du genre "on n'utilisera que des matériaux favorables à l'en-

vironnement" ou "la conception du bâtiment doit être conforme aux règles du développement durable", trop vagues pour orienter les travaux du participant au concours.

Le règlement précise en outre que les critères de jugement doivent être énumérés. Dans les concours recourant à la méthode SNARC, cette liste doit donc inclure des critères du domaine de l'écologie. On trouvera ci-dessous des propositions pour la formulation des demandes écologiques et des critères d'évaluation qu'il y aura lieu d'adapter au contexte spécifique de cas en cas. Le niveau de précision des formulations relatives à l'écologie à faire figurer dans un programme de concours est une question d'appréciation. Des textes trop détaillés peuvent avoir pour conséquences de réduire l'éventail des solutions architecturales, voire de poser des problèmes à l'examen préalable. A l'opposé, si les formulations sont exprimées en termes trop généraux, le participant au concours risque de ne pas comprendre leur portée. Les propositions ci-dessous peuvent être complétées. L'importance relative de chacun des critères devra être évaluée et sa formulation adaptée en conséquence: plus un critère est jugé déterminant et plus sa formulation sera exacte. Il n'est pas indiqué de reprendre les propositions de texte ci-dessous sans les adapter. En ce qui concerne la demande en énergie de chauffage (critère 2.3, exploitation) et d'autres objectifs qui doivent impérativement être atteints, il est recommandé de définir les exigences minimales. Lorsque les projets doivent être conformes aux standards Minergie ou même Minergie-P, il est opportun de demander que soit présenté, outre le calcul justificatif de l'énergie de chauffage, le tracé de principe des conduites de chauffage et de la ventilation contrôlée (critère 3.2, installations techniques).

Proposition de formulation pour le domaine spécialisé de l'écologie

Les qualités écologiques des projets seront évaluées à l'aide de la méthode SNARC. Elles sont résumées comme suit:

L'occupation du terrain et le besoin en ressources pour la construction et l'utilisation des bâtiments sont à réduire au minimum par la concentration des masses ('densification'). L'économie en ressources doit être assurée par des formes compactes et une conception réduisant les besoins énergétiques. La structure porteuse, les installations et l'enveloppe des bâtiments seront conçus de sorte à garantir une haute qualité à l'utilisation. Des dispositifs appropriés de protection solaire et contre le bruit sont à proposer. Les changements d'affectation ultérieurs éventuels doivent être facilement réalisables. Dans le cas d'incompatibilités entre objectifs spécifiques, on proposera un arbitrage pondéré et cohérent.

Proposition de formulation pour les critères de jugement

Outre les règles générales de l'art de construire, les critères SNARC suivants serviront de références pour l'évaluation des projets dans le domaine du développement durable:

.....
.....

2.3 Documents demandés

Les documents nécessaires pour l'évaluation des projets sur la base de SNARC sont énumérés dans la partie II / critères, tableau II/1. Il s'est confirmé pendant la phase de test de la méthode que ces documents, qui font partie du dossier de projet usuel, étaient suffisants. Des calculs justificatifs complémentaires ne sont généralement pas utiles: l'expérience a montré que les calculs des besoins en énergie de chauffage et les justificatifs du standard Minergie, fournis par les auteurs des projets, étaient souvent faux voire difficilement vérifiables. Il s'est par contre avéré que des descriptifs explicites et précis, démontrant les solutions projetées pour atteindre un standard voulu, étaient utiles.

3. Examen préalable

3.1 Organisation

L'examen préalable selon la méthode SNARC ne devrait porter que sur les projets retenus par le jury à l'issue des tours d'élimination et avant le classement final. La charge de travail devient prohibitive lorsque leur nombre dépasse la dizaine. Toutefois, il est souhaitable qu'une première appréciation des projets sous l'angle du développement durable soit effectuée, pendant les procédures d'élimination, et prise en compte dans le travail du jury. Cette première évaluation sommaire devrait de préférence être confiée à l'expert mandaté pour l'examen préalable selon SNARC.

L'examen préalable selon SNARC a généralement lieu entre le premier et le deuxième jour de session du jury, en parallèle avec d'autres travaux effectués à ce stade comme, par exemple, l'établissement ou la vérification des estimations du coût. Dans l'intérêt du sérieux de l'examen préalable, le temps qui lui est alloué ne devrait pas être trop court.

3.2 Application des critères

Avant l'examen proprement dit, les surfaces doivent être vérifiées si leur calcul a été demandé aux auteurs des projets, voire métrées sur les plans présentés si tel n'est pas le cas. La méthodologie d'application des critères est décrite en détail dans la partie II. Il est préférable de soumettre tous les projets retenus à une comparaison horizontale, critère par critère, méthode qui permet de garantir au mieux qu'ils soient mesurés à la même aune et qui fait bien ressortir les différences entre eux.

3.3 Synthèse et présentation des résultats

Étape la plus exigeante de l'examen préalable, la synthèse des résultats aboutira à un rapport d'expertise écrit qui sera transmis et commenté oralement aux membres du jury.

Les critères des domaines 'terrain' et 'ressources pour la construction et l'utilisation' sont évalués

quantitativement. Les résultats sont exprimés respectivement en pourcentages et en GJ (gigajoules), et commentés par un texte. Le domaine de la 'qualité à l'utilisation' fait l'objet d'appréciations qualitatives dont les résultats sont également expliqués en quelques phrases. Il n'est pas réaliste de vouloir agréger les résultats de ces trois domaines, c'est-à-dire d'en extrapoler une note globale unique, car leurs caractéristiques et les méthodes d'évaluation respectives sont trop différentes et conduiraient à des résultats arbitraires.

4. Jugement

L'évaluation globale des qualités des projets, objectif du jugement, est le résultat de l'analyse et synthèse par le jury de tous les aspects partiels. Les résultats de l'analyse 'écologique' seront intégrés au même titre que, par exemple, ceux de l'expertise préalable des coûts de construction.

Afin que les intérêts du développement durable soient pris en compte de façon adéquate, l'écologie devrait être représentée au sein du jury par un expert. Ce spécialiste, bon connaisseur de la méthode SNARC, doit être en mesure d'évaluer et d'explicitier la valeur écologique des propositions formulées dans les projets et disposer d'expérience confirmée pour leur pondération. Le meilleur moyen est que le spécialiste ayant effectué l'examen préalable accompagne le jury en tant qu'expert.

Il lui incombera la tâche exigeante de démontrer les différences entre projets et de les mettre en évidence. Le jury doit être sensibilisé à l'importance des choix dès les premiers stades de la conception: certains des objectifs de l'écologie ne pourront plus du tout être atteints et d'autres réalisés seulement dans une moindre mesure pendant les phases ultérieures du projet. Dans le domaine de l'écologie comme dans les autres, le jury définit l'orientation de la suite des études. Il est souhaitable qu'il en confirme le sens en formulant des recommandations pour un meilleur développement du potentiel offert par le ou les projets retenus.

II / Critères

Résumé

	Critères	Mode de saisie / évaluation	Enjeux	Documents
1	Terrain			
1.1	Surfaces vertes	Quantitatif: en % de la parcelle, resp. de la situation de départ.	Créer les conditions préalables pour la conservation de la biodiversité; impact minimal sur le régime des eaux.	Aucun
1.2	Régime des eaux			
2	Ressources			
2.1	Terrassements et aménagements extérieurs	Quantitatif: Energie grise contenue dans matériaux et bâtiments, à l'aide de valeurs de référence.	Toutes les charges sur l'environnement découlant de façon directe ou indirecte de l'utilisation d'énergies non renouvelables ou dont les réserves sont limitées.	Surface de plancher SP, selon Norme SIA 416* Coupe et vue des façades, échelle 1 :20, évent. 1 :50
2.2	Gros œuvre			
2.3	Exploitation	Quantitatif: énergie d'exploitation, basée sur le besoin de chaleur pour le chauffage, converti en énergie primaire, durant 30 ans.		Surface de référence énergétique SRE selon Norme SIA 380/1*. Justificatifs de conformité aux standard**. Calculs justificatifs pour cas particuliers.
3	Qualité à l'utilisation			
3.1	Structure porteuse	Qualitatif: Evaluation des qualités d'utilisation, basée sur les appréciations de l'expert.	Créer les conditions préalables pour une utilisation minimale des ressources.	Concept du système porteur.
3.2	Installations techniques			Concept des gaines techniques.
3.3	Enveloppe du bâtiment			Coupe et vue des façades échelle 1 :20, évent. 1:50
3.4	Protection thermique en été		Créer les conditions préalables pour un confort élevé	
3.5	Protection contre le bruit			Aucun

Tab. II/1 Critères : Mode de saisie, enjeux environnementaux et documents

* Calculs des surfaces vérifiables au moyen de schémas explicatifs

** Justificatifs vérifiables

Remarques

Dans cette partie, on trouvera les définitions, la signification et les explications nécessaires à l'application de ces critères. Ils sont résumés dans le tableau II/1 et regroupés lorsqu'ils ont des buts comparables. Les critères SNARC sont organisés en différents domaines qui ne peuvent être agrégés que difficilement et de manière subjective. Les critères des deux domaines 'Terrain' et 'Ressources' remplissent les conditions de reproductibilité. Les critères du domaine 'Qualité à l'utilisation' dépendent fortement de la nature de l'objet. Les choix pour leur évaluation sont déterminés au cas par cas par l'expert, en collaboration avec le jury.

Terrain

Le projet doit créer les conditions préalables à une grande biodiversité sur la parcelle et veiller à la conservation des populations animales et végétales existantes. Déterminés en partie dans une phase initiale, il s'agit d'importants objectifs environnementaux qui ne sont plus influençables par la suite.

Ressources pour la construction et l'exploitation

Le but est d'utiliser le moins de ressources possibles pour la construction et l'exploitation. Comme mesure, on prend la demande en énergies. La fabrication de tous les matériaux nécessaires, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à leur transformation ('cycle de vie'), en fait aussi partie. Cela permet de tenir compte globalement de toutes les charges sur l'environnement découlant de l'utilisation d'énergie comme effet de serre, pollution de l'air, quantité de déchets, exploitation des matières premières, etc.

Le concepteur peut avoir une influence directe sur les ressources nécessaires à la construction; celles-ci sont d'une grande importance lorsqu'on considère le 'cycle de vie'. Les ressources nécessaires pour les aménagements intérieurs et extérieurs sont en général beaucoup moins importantes que pour le gros œuvre. Les facteurs sont en grande partie déterminés par la forme du bâtiment et peuvent être aisément quantifiés à partir de valeurs de référence.

L'énergie d'exploitation est un facteur écologique déterminant. Seules les caractéristiques largement influençables par la planification sont formulées en tant que critères. Elles se basent sur le besoin de chaleur pour le chauffage Q_h . L'énergie d'exploitation peut être quantifiée de façon fiable et elle peut encore être influencée, même dans une phase avancée du projet.

Qualité à l'utilisation

Le projet doit créer les conditions nécessaires à une utilisation de haute qualité. La structure porteuse, les installations techniques, l'enveloppe du bâtiment, la protection contre le soleil et contre le bruit sont donc examinées. Une disposition judicieuse de la structure porteuse et des réseaux d'installations, ainsi qu'une bonne enveloppe, permettent de réduire la quantité des ressources. Des protections efficaces contre le soleil et contre le bruit garantissent à l'utilisateur le confort pour une bonne qualité d'utilisation.

1. Terrain

1.1 Surfaces vertes

Par surfaces vertes, on comprend toutes les surfaces qui ne sont pas étanches et que l'on peut végétaliser. Les plans d'eau, naturels ou artificiels, aménagés en biotopes en font aussi partie. Par contre, les chemins et les places recouverts de matériaux permettant l'infiltration, comme les grilles à gazon et le gravier, en sont exclus. Les toitures végétalisées ainsi que les surfaces vertes recouvrant des constructions souterraines ne comptent que pour moitié.

Enjeu

Le but est de créer, sur la parcelle, des conditions optimales pour favoriser une grande diversité des espèces. Un monde animal et végétal diversifié est particulièrement important pour la stabilité des écosystèmes. Dans la majorité des cas, il n'est pas possible d'en juger dans le cadre d'un concours. Pour garantir la diversité, c'est finalement la taille des surfaces vertes qui est déterminante. Plus elle est importante, meilleures sont les chances pour obtenir cette diversité. Elles sont moins bonnes sur des toitures ou sur des constructions souterraines.

Mode de saisie

On tient compte du pourcentage des surfaces vertes par rapport à la surface totale de la parcelle. Suivant l'importance et le temps à disposition, on peut l'estimer grossièrement ou le mesurer sur plans. Pour de très grands terrains ou de petites surfaces bâties, on peut aussi se référer à des valeurs moyennes ou extrêmes des projets rendus, exprimées en m² ou en %.

Part de surface verte par rapport à la surface totale, en %

1.2 Régime des eaux

L'infiltration et la rétention de l'eau de pluie contribue à préserver le régime naturel des eaux. Sont considérées comme surfaces d'infiltration toutes les surfaces à travers lesquelles l'eau de pluie peut parvenir jusqu'à la nappe phréatique, cette eau n'étant amenée ni dans les canalisations, ni dans les cours d'eau. Ce sont les surfaces vertes, mais aussi la partie non bâtie du terrain comme les chemins en gravier, les places de parc en grilles-gazon. Pour les toitures (y compris toitures végétalisées) ainsi que les routes et les places recouvertes d'une surface imperméable, on a besoin d'un dispositif d'infiltration afin d'amener l'eau de pluie vers la nappe phréatique.

Enjeu

Selon la loi, l'eau de pluie ne peut pas être amenée dans les canalisations. Si l'infiltration naturelle n'est pas possible sur le terrain, alors il faut y prendre des mesures pour la rétention. Ce critère vise à préserver les nappes phréatiques, à prévenir les inondations et à décharger les stations d'épuration. Ces trois buts sont aujourd'hui prioritaires dans la politique de la protection des eaux. Les mesures d'infiltration et la rétention des eaux de pluie permettent d'atteindre, pour le moins d'approcher, ces trois objectifs. Infiltration et rétention sont jugées égales; elles sont considérées comme équivalentes si, pour des raisons spécifiques à l'objet ou au lieu, l'une ou l'autre ne peut être appliquée.

D'autres mesures, comme l'utilisation de l'eau de pluie pour les toilettes, le refroidissement ou d'autres applications sont judicieuses du point de vue de l'économie d'eau potable, mais leur capacité de rétention, comme celle d'une toiture végétalisée, est insuffisante. Ces surfaces ne sont pas prises en compte.

Mode de saisie

La somme des surfaces d'infiltration de l'eau de pluie est exprimée en % de la surface totale de la parcelle. Suivant l'importance et le temps à disposition, on peut l'estimer grossièrement ou la mesurer à l'aide des plans.

Part de surface d'infiltration de l'eau de pluie par rapport à la surface totale en %.

2. Ressources

2.1 Ressources pour terrassements et aménagements extérieurs

Ce critère permet de quantifier les ressources nécessaires pour les fouilles, la construction de routes et de places, les murs de soutènement et les mesures particulières lors de travaux dans la nappe phréatique. Par mouvements de terre, on comprend tous les volumes d'excavation nécessaires, y compris les talus et mise en forme. Une majoration permet de tenir compte des ressources nécessaires pour les autres constructions souterraines, ainsi que des cas particuliers.

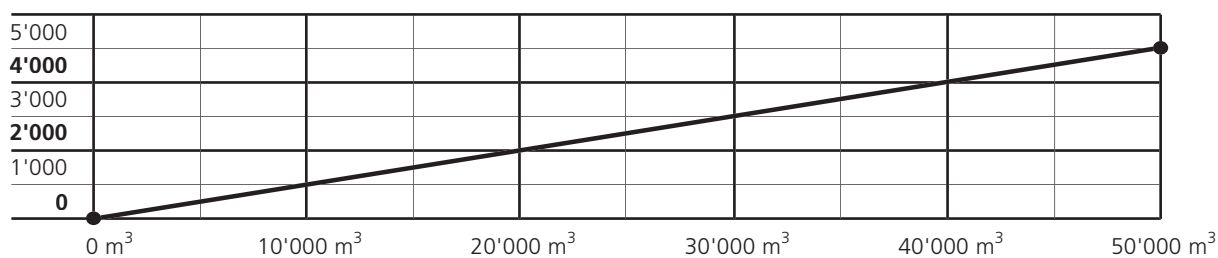
Enjeu

Ce critère décrit les ressources en énergie nécessaires pour tous les mouvements de terre pour le bâtiment et les aménagements extérieurs. Les valeurs indiquées sont des moyennes; elles prennent en compte l'excavation mécanique, le transport à la décharge, ainsi que l'étaillage des fouilles ou d'autres mesures particulières. Son importance dépend du type d'ouvrage et il peut être directement comparé aux autres critères quantitatifs. Du point de vue du 'cycle de vie', ce critère ne joue qu'un rôle secondaire lorsque les terrassements nécessaires pour le sous-sol et les étaillages sont de peu d'importance.

Mode de saisie

Comme le montre le tableau ci-dessous, les ressources sont estimées à partir du volume effectif d'excavation et des mouvements de terre, majorés pour des travaux souterrains particulièrement lourds. Suivant la précision désirée, les chiffres sont estimés ou mesurés sur la base des plans puis, à partir du volume pondéré, convertis en ressources énergétiques.

GJ Ressources pour terrassements et aménagements extérieurs



Volume pondéré: excavation et aménagements extérieurs

	Unité effective	Volume pondéré
Terrassements, y c. talus et mouvements de terrains	1 m ³	1 m ³
Blindage de fouille (étaillages, palplanches, parois de protection)	1 m ²	4 m ³
Volume du bâtiment dans la nappe phréatique (majoration)	1 m ³	3 m ³
Routes et places carrossables	1 m ²	2 m ³
Murs de soutènement (majoration)	1 m ²	5 m ³

Exemple:

Pour 170 m² de route, il faut ajouter 340 m³ de volume pondéré aux autres terrassements.

2.2 Ressources pour le gros œuvre

2.2.1 Bâtiments neufs

Le gros œuvre comprend toute la structure porteuse, constituée par les fondations, les parois intérieures et extérieures (porteuses ou non), le radier ou le dallage et les dalles. Les demandes en ressources englobent toutes les matières premières et l'énergie nécessaires à la construction du gros œuvre.

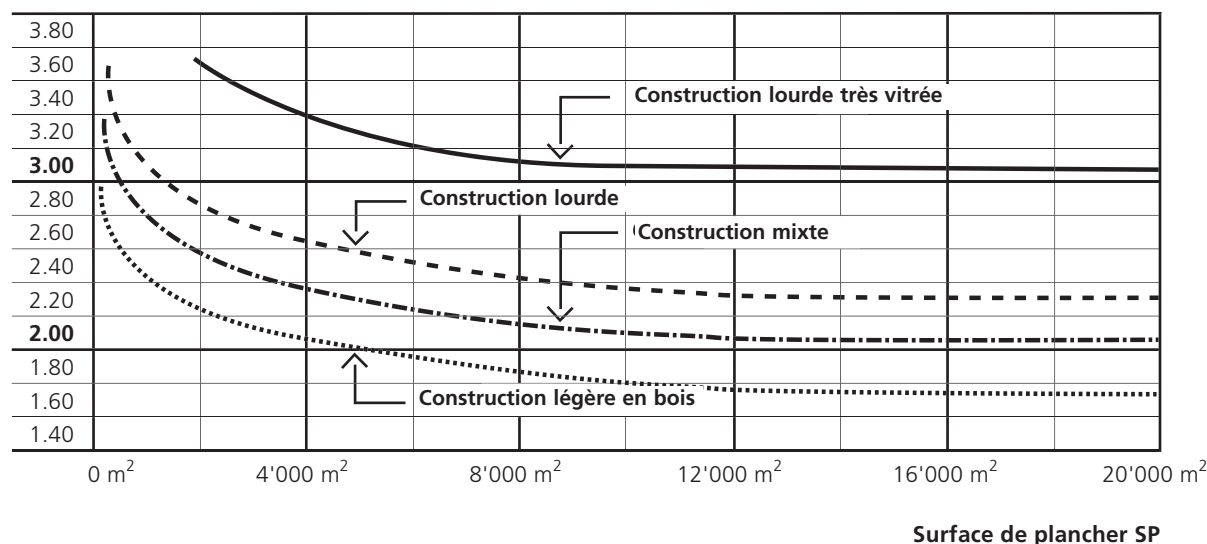
Enjeu

Pour produire des matériaux, il faut des matières premières tirées de la nature, mais aussi de l'énergie pour leur extraction, leur transport, les processus de fabrication et de transformation. L'énergie grise sert d'indicateur pour les ressources utilisées. L'énergie nécessaire à la fabrication de tous les matériaux d'une construction (énergie grise) correspond environ à celle qui est nécessaire pour chauffer un bâtiment bien isolé durant 30 à 40 ans.

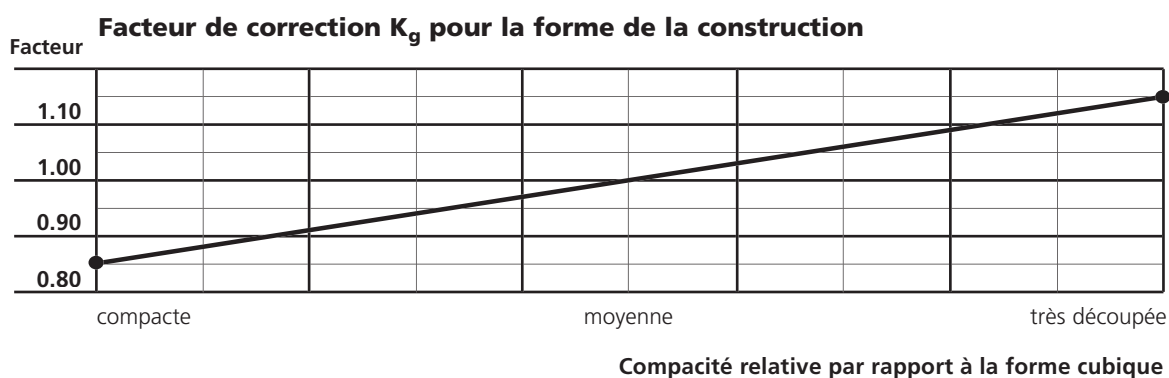
Mode de saisie

Comme le montre le tableau ci-dessous, l'énergie grise est influencée par quatre facteurs principaux (type de construction, forme, type et surface des fenêtres). Dans le premier graphique, on détermine une valeur de référence d'énergie grise en fonction de la surface de plancher SP et du type de construction. Selon la précision désirée, la surface de plancher est estimée ou mesurée sur plan. S'il y a plusieurs corps de bâtiment, on prendra en compte la surface de plancher totale. Par construction légère, on entend une construction tout en bois dont seul le sous-sol est massif. La construction lourde comprend des dalles en béton, ainsi que des murs en béton ou en maçonnerie. Entre les deux, il y a la place pour toute une gamme de combinaisons. La courbe 'construction lourde très vitrée' s'entend pour des bâtiments avec structure lourde habillés par des façades dont le taux de vitrage > 65 % (par exemple façade légère suspendue).

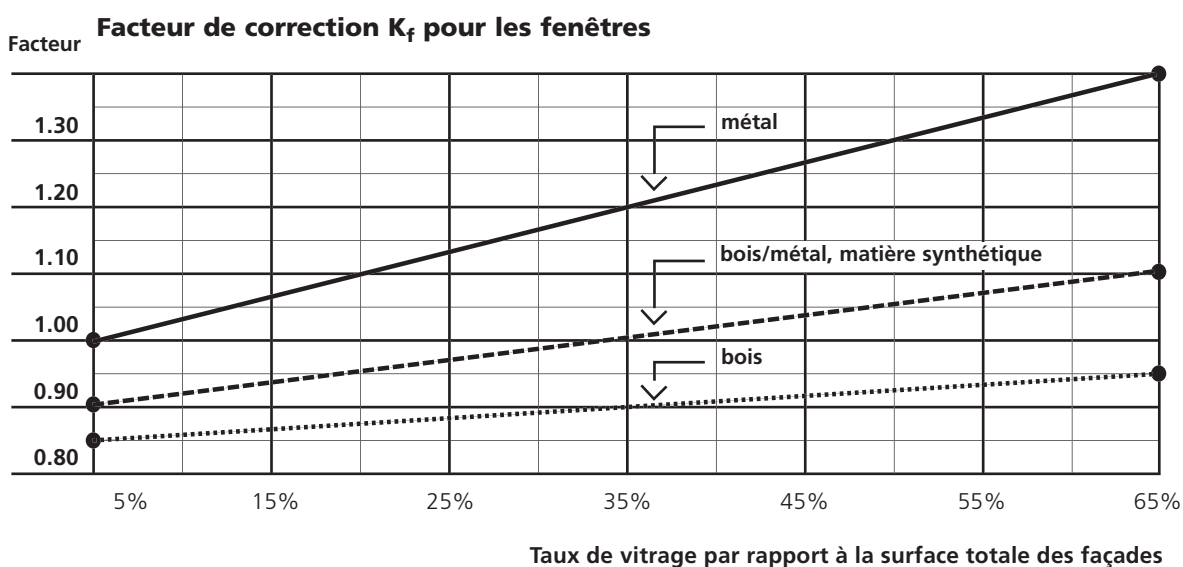
GJ/m² Energie grise en fonction du type de construction et de la taille



La forme et le volume du bâtiment ont une grande influence sur l'énergie grise. De grands volumes et une forme compacte demandent le moins d'énergie grise pour la construction. Le schéma suivant montre comment tenir compte de la forme et du volume à l'aide du facteur de correction K_g . Le meilleur facteur 0.85 est atteint par de grands volumes de forme presque cubique.



Mises à part les constructions lourdes très vitrées, les valeurs de référence ci-dessus sont calculées pour des façades avec un taux de vitrage d'environ 35 %. Par ailleurs, le calcul de l'énergie grise des fenêtres pour des cadres bois-métal se base sur une part moyenne du cadre. Comme la surface de fenêtre a une influence notable sur l'énergie grise, le facteur K_f permet d'en tenir compte lorsque les écarts sont importants (voir tableau ci-dessous). Si le matériau du cadre n'est pas connu, on admettra pour tous les projets des cadres en bois-métal. Il n'est pas nécessaire d'appliquer de facteur de correction K_f aux constructions lourdes très vitrées.



2.2.2 Rénovations

Il existe deux possibilités pour estimer les ressources nécessaires pour le gros oeuvre lors d'une rénovation, mais cela demande un peu de temps. La première s'appuie sur les valeurs de référence de travaux de rénovation déterminés par rapport à la surface totale de plancher. Pour un bâtiment de taille moyenne, à plusieurs étages, ceci donne les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous. Celles-ci permettent une estimation grossière des ressources selon le principe des parties touchées par les travaux. Ces valeurs s'entendent toujours pour le remplacement à 100 % des éléments considérés. Si par exemple, on ne remplace que les 2/3 des fenêtres ou que la 1/2 du toit, alors il ne faudra prendre que la part correspondante.

La deuxième possibilité part de la surface de plancher effective des parties rénovées sur la base d'avant-métrés. Les valeurs de référence pour les rénovations par rapport aux surfaces effectives se trouvent dans la partie IV / Annexe, tab. IV/3, tabl. IV/10 et IV/11.

Travaux de rénovation	GJ / m² GF
Rénovation toit plat	1.00 *
Rénovation toit en pente	0.50 *
Rénovation dalle sur sous-sol	0.70 *
Remplacement parois intérieures massives	0.35
Remplacement parois intérieures légères	0.25
Remplacement plafonds suspendus	0.25
Remplacement revêtement de sol, y c. chape	0.35
Remplacement revêtement de sol, sans chape	0.10
Rénovation façades	0.50
Remplacement murs extérieurs	0.80
Remplacement fenêtres	1.55
Remplacement façades vitrées	3.50

* Diviser ces valeurs par le nombre d'étages

2.3 Ressources pour l'exploitation

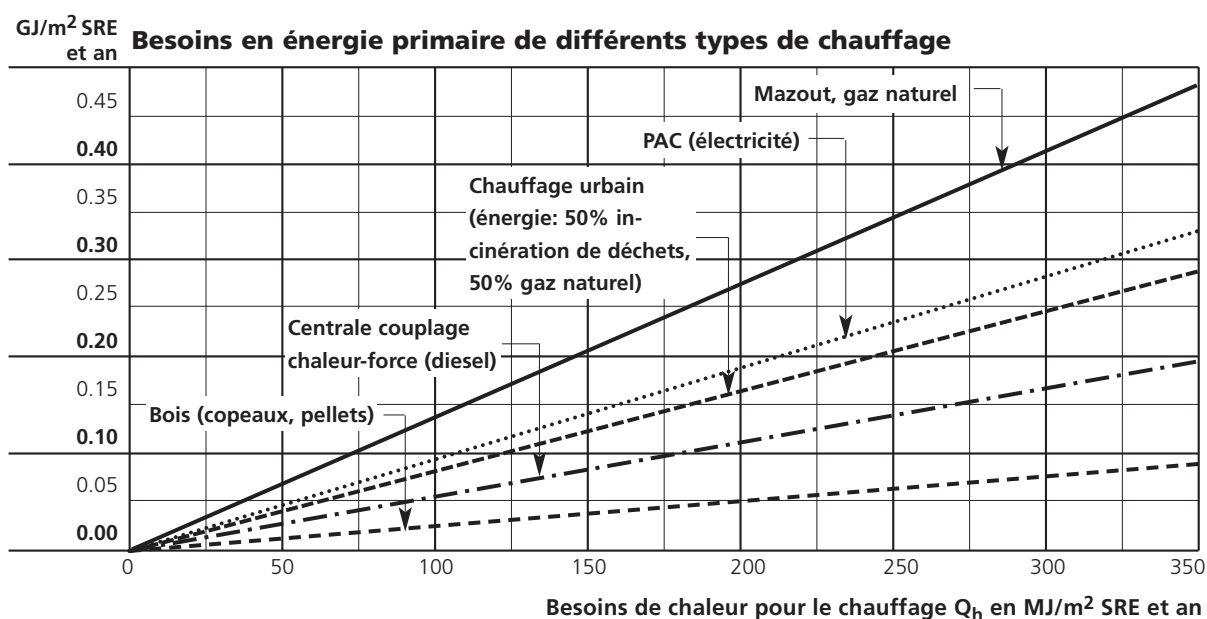
Le besoin de chaleur pour le chauffage Q_h selon la norme SIA 380/1 est une grandeur qui caractérise la demande d'énergie pour le chauffage de locaux dans des conditions standard d'utilisation. Pour le réduire, il faut viser une bonne enveloppe avec aussi peu de pertes par transmission ou renouvellement d'air que possible, ainsi que des gains dus à l'énergie solaire aussi élevés que possible. C'est la base pour une construction efficace du point de vue énergétique. L'énergie primaire est celle que l'on trouve dans la nature, avant toute transformation par l'homme; elle est la grandeur de référence en matière d'environnement. Il existe un lien entre le besoin de chaleur Q_h et l'énergie primaire nécessaire, car la quantité d'énergie primaire dépend du rendement, du vecteur d'énergie et du système de production d'énergie.

Enjeu

Dans le cadre du 'cycle de vie' d'un bâtiment, une des charges les plus importantes sur l'environnement est l'utilisation d'énergie primaire pour couvrir les besoins du chauffage. Estimée sur 30 ans, elle atteint le même ordre de grandeur que la demande en ressources pour le gros œuvre (selon II/2.2).

Mode de saisie

Le besoin de chaleur pour le chauffage est estimé ou calculé en tenant compte du système d'aération. Les gains au moyen de collecteurs solaires ou de cellules photovoltaïques ne sont pas pris en compte, ceux-ci n'étant pas de première importance lors d'un concours d'idées ou de projets. Le besoin de chaleur pour le chauffage Q_h devrait être fixé dans le descriptif du concours, par ex. valeur-cible selon SIA 380/1 ou en conformité avec le standard Minergie, voire Minergie-P. En fonction du système de chauffage, lequel est en général prescrit dans les données du concours, on convertit les besoins de chaleur Q_h en énergie primaire à l'aide du tableau. Ensuite, on calcule ces besoins pour l'ensemble du bâtiment et pour la période de 'cycle de vie' considérée.



3. Qualité à l'utilisation

3.1 Structure porteuse

Une conception judicieuse du système porteur garantit une reprise des charges efficace et une économie en matériaux. Elle permet des changements ultérieurs d'affectation sans pour autant modifier la structure ce qui nécessiterait d'importants travaux.

Enjeu

Un système porteur de bonne conception ne nécessitera qu'un minimum de matériau et d'énergie lors de la construction, ainsi que lors de réaffectations ultérieures. Il s'agit des besoins en ressources, mais ceux-ci, faute de données, ne peuvent être quantifiés dans le cadre d'un concours d'idées ou de projets. Un système porteur qui limite la flexibilité peut rendre difficile un changement d'affectation ou demander en conséquence beaucoup de ressources.

Appréciation

La conception du système porteur est jugée qualitativement. L'évaluation est effectuée par un spécialiste en fonction des données du projet. Pour cette appréciation, il faut que le concept du système porteur soit compréhensible sur les plans ou les schémas appropriés.

Appréciation qualitative

3.2 Installations techniques

Il s'agit ici des réseaux de distribution et d'évacuation des installations techniques (sanitaire, chauffage, ventilation, électricité) : des réseaux de distribution courts et simples, bien regroupés en zones d'installations sont favorables, si celles-ci sont accessibles pour le contrôle, les réparations et la pose d'équipement complémentaire.

Enjeu

Il s'agit de créer, au niveau de la construction, les conditions permettant une distribution et une évacuation simples des fluides. Un projet sera jugé négativement s'il est compliqué de procéder à des contrôles, des réparations ou des compléments d'équipement, que ce soit lors de la construction ou durant l'exploitation. On considère ici essentiellement les coûts d'entretien et de remplacement et, dans une certaine mesure, aussi les besoins en ressources. Ce critère ne se laisse toutefois pas quantifier.

Appréciation

La qualité du concept de distribution et d'évacuation des fluides par les installations techniques est évaluée qualitativement par un spécialiste en fonction des données du problème. Pour cela, une représentation du projet montrant la disposition des éléments, les zones d'installations horizontales et verticales (gaines, plafonds suspendus, etc), est nécessaire.

Appréciation qualitative

3.3 Enveloppe du bâtiment

En appréciant la matérialisation et la construction, en particulier celles de la façade, c'est la durabilité de l'enveloppe qui est évaluée. Une protection insuffisante contre les intempéries, des matériaux peu résistants ou une autre conception de façade à risque, peuvent être la cause d'un vieillissement prématuré.

Enjeu

Une durabilité réduite se traduit par des assainissements de façades plus fréquents ; il s'ensuit de plus grandes quantités de déchets et une demande plus élevée en matériaux sur l'ensemble du 'cycle de vie'. Il s'agit donc des ressources, mais elles ne sont pas quantifiables dans le cadre d'un concours.

Appréciation

La durabilité de l'enveloppe est jugée qualitativement. L'appréciation est effectuée par un spécialiste en fonction des caractéristiques de l'objet. Pour cela, il faut pouvoir disposer des coupes et des vues des façades et des détails-types (échelle 1 :20, évent. 1 :50).

Appréciation qualitative

3.4 Protection thermique en été

Des mesures constructives, c'est-à-dire passives, peuvent garantir une protection efficace contre la surchauffe estivale et donc un confort élevé. On peut ainsi éviter un refroidissement actif de constructions à charges thermiques internes normales. Une protection solaire efficace, une part vitrée réduite et un type de construction accumulant la chaleur sont déterminants.

Enjeu

Une mauvaise protection solaire entraîne une surchauffe des locaux, les rendant inconfortables, ce qui influence beaucoup la sensation de bien-être. Il n'est pas admissible d'utiliser le refroidissement actif en été pour compenser une mauvaise protection solaire. Il n'est toutefois pas possible de quantifier ce critère.

Appréciation

La protection thermique en été est jugée qualitativement. La qualification est effectuée par un spécialiste en fonction de l'objet. Pour cette appréciation, il est nécessaire de pouvoir disposer de coupes de détail (échelle 1 :20, évent. 1 :50) représentatives de la façade.

Appréciation qualitative

3.5 Protection contre le bruit

Ce sont les mesures conceptuelles de protection contre les bruits extérieurs et intérieurs qui sont prises en considération. Une disposition adéquate du bâtiment sur le terrain et une organisation judicieuse des volumes en fonction de leur degré de sensibilité face aux nuisances sonores est un avantage. Les mesures techniques à mettre en oeuvre dans ou sur le bâtiment, tel par exemple le recours à des fenêtres phoniques contre les bruits de la circulation ou autres sources de bruit, ne sont pas des mesures conceptuelles.

Enjeu

La conception phonique d'ensemble vise un confort élevé et une bonne qualité d'utilisation. Si des mesures de protection contre le bruit techniquement compliquées (en-dehors d'un concept) sont nécessaires, elles seront jugées négativement. Dans une certaine mesure, il s'agit aussi d'utilisation des ressources. Ce critère n'est pas quantifiable.

Appréciation

La protection contre le bruit est jugée qualitativement. L'évaluation est effectuée par un spécialiste en fonction de l'objet.

Appréciation qualitative

III / Références de base

1. Le modèle du 'cycle de vie'

La méthode d'évaluation de SNARC se base sur les trois principes suivants:

1. Toutes les analyses concernent la première tranche du cycle de vie: elle englobe la fabrication de tous les matériaux de construction et leur mise en œuvre dans le bâtiment, la préparation et la mise en forme du terrain, ainsi que l'utilisation (demande en énergie pour le chauffage) durant 30 ans.
2. L'énergie grise est l'indicateur utilisé pour représenter toutes les charges environnementales.
3. Les critères 2.1 'Ressources pour les terrassements et l'aménagement du terrain', 2.2 'Ressources pour le gros œuvre' et 2.3 'Ressources pour l'exploitation' ont une relation directe avec des charges environnementales. Ils sont quantifiables.

L'énergie, indicateur de la charge environnementale

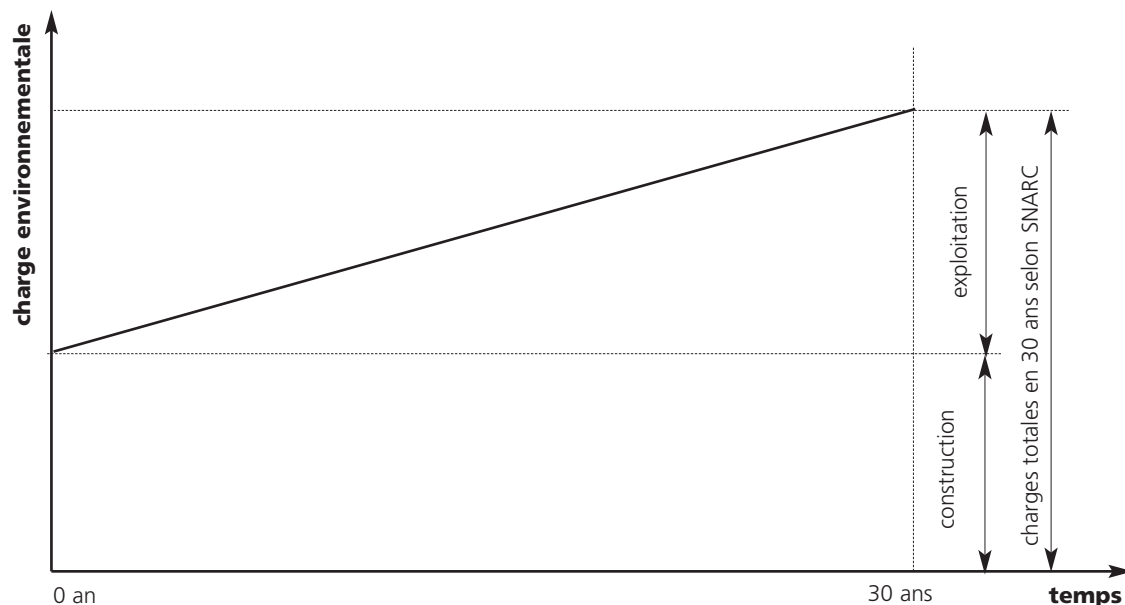


fig. III/1 Schéma des principales charges environnementales pendant le cycle de vie, selon SNARC

Le modèle du 'cycle de vie' est schématiquement représenté dans la fig. III/1. Même si l'importance des charges environnementales dues à la construction du bâtiment est de mieux en mieux reconnue, leur poids par rapport à celles de la phase d'utilisation n'est cependant que rarement évalué. SNARC comble cette lacune en permettant d'estimer l'énergie grise totale. Elle est en premier lieu déterminée par les quatre données suivantes: le type de construction (matériaux du gros œuvre), les

dimensions du bâtiment, sa forme et les surfaces des fenêtres. Elle peut ainsi être sommairement évaluée dès les premières phases du développement du projet, bien avant la préparation de l'exécution, en appliquant des valeurs de référence moyennes issues de l'expérience et de l'analyse de bâtiments réalisés. Au stade du concours de projet, le calcul précis de l'énergie grise n'est toutefois pas encore possible. Plus le bâtiment sera économe en énergie d'exploitation et plus important sera le poids relatif de la construction dans une approche qui tient compte du 'cycle de vie' complet. La charge environnementale de cette phase est représentée dans la fig. III.1 sur l'ordonnée, au début de la tranche considérée du cycle de vie.

Contrairement à celles de la construction, les charges environnementales pendant la phase d'exploitation sont continues si on ne tient pas compte des rénovations éventuelles. Elles résultent de la consommation d'énergie pour chauffage, ventilation, climatisation et éclairage. SNARC ne prend en compte que la part de l'énergie d'exploitation sur laquelle il est possible d'agir directement au stade du concours de projet, soit en premier lieu, l'énergie nécessaire pour le chauffage (besoin de chaleur pour le chauffage).

Les rénovations et changements d'affectation sont des événements ponctuels qui produisent des charges environnementales. Ils ne sont pas représentés à la fig. III/1. Ils sont influencés par la conception initiale: ainsi, par exemple, on tiendra compte dans l'évaluation qualitative du fait de devoir remplacer prématurément une façade dont il est prévisible que la durée de vie soit limitée. On tient également compte du fait qu'un bâtiment construit aujourd'hui subira un changement d'affectation au cours des 30 premières années de sa vie. La raison en est la tendance actuelle vers la modification accélérée des lieux de travail, écoles et bâtiments publics due aux réorganisations, aux changements des structures d'exploitation et à l'évolution des techniques de communication. Dans le modèle adopté, si un bâtiment n'offre qu'une flexibilité réduite, ou une enveloppe peu résistante, des charges environnementales accrues en résulteront. Une appréciation qualitative se fait d'après les critères 3.1 Structure porteuse et 3.3 Enveloppe du bâtiment.

2. Tranche de vie considérée

La tranche du cycle de vie prise en compte peut, en principe, être définie de cas en cas par l'utilisateur de SNARC, les valeurs de référence applicables pouvant être facilement adaptées. La durée de la tranche du cycle de vie relativement courte de 30 ans, délibérément proposée par les concepteurs de la méthode pour les raisons évoquées ci-dessous, ne devrait cependant être allongée que si des circonstances particulières le justifient.

L'espérance de vie d'un bâtiment et la durée d'utilisation de ses composantes dépendent de nombreux facteurs; ce sont souvent des aspects constructifs et de technique des matériaux qui les déterminent. Mais la transformation ou la démolition de bâtiments sont souvent justifiées par des arguments autres que techniques: des aspects de rentabilité, la modification de structures économiques, l'évolution des méthodes de travail ou des styles de vie, voire des changements de mode ou de codes esthétiques. On n'a que peu d'influence sur ces aspects pendant la phase de conception.

En appliquant SNARC, les conséquences de choix constructifs sont analysées dans la mesure où cela est possible au stade du concours; par contre, celles liées aux choix des matériaux ne peuvent pas l'être. Pour ce dernier aspect, on se référera aux données dégagées de l'expérience de grands maîtres de l'ouvrage institutionnels¹⁾. Elles permettent d'extrapoler le temps de vieillissement du bâtiment entier en examinant les durées d'exploitation de ses composantes dans le cadre d'une analyse énergétique globale. La durée d'amortissement physique ainsi calculée se situe entre 35 et 50 ans et dépend en premier lieu des matériaux du gros œuvre. Dégagées des mêmes analyses, les durées d'utilisation des bâtiments jusqu'à leur première restructuration complète vont de l'ordre de 20 ans dans le secteur de l'industrie à 60 ans pour le logement.

SNARC tient compte d'un aspect supplémentaire: en promouvant l'économie des ressources, nous acceptons notre responsabilité envers les générations futures. Si on étendait le 'cycle de vie' pris en compte à 50, voire 80 ans, l'énergie consommée pendant l'exploitation du bâtiment deviendrait nettement plus importante que l'énergie grise nécessaire pour sa construction. On reléguerait ainsi à deux ou trois générations à venir une part des charges environnementales que nous produisons en construisant, ce qui serait contraire au principe de précaution, ancré dans la loi: elle établit que les responsables d'une atteinte à l'environnement doivent en assumer les conséquences. Ces considérations justifient que soit limitée à une période relativement courte et contrôlable, correspondant à une génération de 30 ans, la tranche de la vie du bâtiment prise en compte, d'autant plus que la responsabilité environnementale n'est pas reportée si le bâtiment change de mains après cette période.

1) Office des constructions fédérales: Durées d'exploitation normalisée de bâtiments et d'éléments de construction; éditeur: Office fédéral des constructions et de la logistique, c.p., 3003 Berne, janvier 1997.

3. Valeurs de référence pour l'application des critères

3.1 L'énergie grise

La signification clé de l'énergie dans le concept du développement durable est universellement reconnue.²⁾ La disponibilité en tout lieu et en tout temps d'énergies fossile et électrique bon marché est la condition absolue pour le fonctionnement de l'économie dans la société industrielle moderne. Sans énergie, pas d'extraction, ni transport, ni transformation de matières premières. Les agents énergétiques sont des facteurs essentiels à la production de notre économie.

Définition de l'énergie grise

L'énergie grise telle qu'utilisée dans cette méthode est une unité de mesure écologique. Elle s'appuie sur des données physiquement mesurables (unités d'énergie), toutefois sans tenir compte de toutes les formes d'énergie. Dans un système donné, elle comprend la somme des ressources non renouvelables en énergie primaire et en matières fossiles, ainsi que de l'énergie hydraulique consommées. Elle ne tient pas compte des matières premières renouvelables et des matériaux recyclés. Outre du potentiel de renouvellement et de la disponibilité des ressources, les critères d'évaluation tiennent compte des impacts environnementaux liés à l'extraction, la transformation et l'utilisation. L'énergie grise est utilisée en analogie avec les unités de mesure des impacts et des effets dans les écobilans.

Le recours à l'énergie et les conséquences pour l'environnement de son utilisation font de moins en moins partie des expériences personnelles de l'homme moderne. A cette perte de la relation quotidienne intime avec l'énergie au niveau individuel fait face une consommation mondiale croissante et la prise de conscience qu'une grande partie des problèmes environnementaux sont directement ou indirectement imputables aux techniques d'utilisation d'énergies. Des risques connus auxquels nous expose la surexploitation de la biosphère, nombreux sont ceux causés par la consommation d'énergie: la pollution atmosphérique par les oxydes d'azote, les dioxydes de soufre et les gaz à effet de serre en particulier, résulte surtout de la combustion d'énergie fossile. Les risques inhérents à la technologie nucléaire sont indissociables de la production d'énergie électrique.

Compte tenu de son importance économique et écologique, l'énergie s'impose en tant qu'étalon pour évaluer produits et services. En calculant l'énergie primaire totale, nécessaire pour fournir un certain produit ou service dans un contexte donné, on obtient des résultats chiffrés utilisables pour des comparaisons. L'énergie primaire permet en parallèle d'évaluer forfaitairement de nombreux autres impacts sur l'environnement liés à l'utilisation d'énergies, de même que la consommation d'autres ressources non renouvelables ou disponibles en quantité limitée.³⁾

2) Comité interdépartemental de Rio (Ci-Rio); Le développement durable en Suisse; Office fédéral de l'environnement, de la forêt et du paysage, Berne 1996-97.

3) Office fédéral de l'environnement, de la forêt et du paysage; Ökologische Bewertung mit Hilfe der Grauen Energie, No 307, série de publications sur l'environnement, Berne 1999 (en allemand uniquement).

L'idée de recourir à l'énergie grise en tant qu'unité de mesure forfaitaire pratique est issue de l'expérience acquise dans l'exercice des écobilans où l'énergie primaire est généralement le paramètre le plus important et le plus fiable. C'est pourquoi on dispose de valeurs plus complètes et représentatives pour l'énergie que pour les émissions polluantes. L'énergie grise est l'indicateur-clé de référence tant pour la vérification de limites de système que comme base de réflexion portant sur ce qui est plausible, l'analyse de sensibilité, voire l'importance relative de données ou de résultats. Elle convient particulièrement bien pour évaluer certaines caractéristiques de projets de concours, compte tenu qu'on ne dispose généralement à ce stade guère d'indications concernant leur matérialisation.

3.2 Construction

3.2.1 Ressources pour les terrassements et aménagements extérieurs

Pour un bâtiment avec un seul niveau en sous-sol situé sur une parcelle plate, les ressources que demandent l'excavation et les transports des déblais sont modestes par rapport à l'énergie grise totale. Leur importance va croissant lorsque le projet comporte un garage enterré ou implique de fortes modifications du terrain, voire quand il pénètre dans la nappe phréatique. La valeur de référence indiquée de 100 MJ/m³ est une moyenne, elle comprend le carburant pour les engins de terrassement (40 MJ/m³) et de transport (60 MJ/m³). La consommation d'énergie primaire des excavatrices, bulldozers et dumpers varie, pour des facteurs de charge moyens, entre 250 et 1200 MJ/heure, en fonction de leur taille (3 – 47 t) et puissance (10 – 200 kW)⁴. En admettant un rendement moyen de 20 m³/heure, on obtient les 40 MJ/m³ mentionnés pour l'excavation avec le chargement sur camion. La consommation d'énergie par m³ excavé par des engins plus gros est plus basse que celle de petites machines de faible puissance. Le transport par camion demande 4 MJ par m³ et par km; les 60 MJ/m³ indiqués ci-dessus correspondent donc à une distance aller et retour de 15 km jusqu'au dépôt intermédiaire ou à la décharge. Ces valeurs peuvent fortement varier de cas en cas, mais il est facile de les adapter à un contexte donné. Il en est de même pour les matériaux utilisés, ainsi que pour les aménagements extérieurs selon critère 2.1, pour lesquels on a admis une valeur unique de 100 MJ/m³ dans l'optique de simplification.

3.2.2 Ressources pour le gros œuvre

La quantité de ressources nécessaires pour le gros œuvre est influencée par des rapports complexes entre différentes caractéristiques du bâtiment. Les résultats et enseignements dégagés de l'analyse détaillée de bâtiments dans le cadre de divers programmes de recherche et travaux de diplôme à la HES de Winterthour⁵) ont servi de base pour le projet de recherche SNARC. Ils ont été analysés et généralisés à l'aide de simulations, afin d'identifier parmi les paramètres ceux qui sont déterminants pour l'énergie grise d'un bâtiment et qui permettent d'en estimer la quantité de manière simple et rapide.

4) Kasser, U., Pöll, M.; Graue Energie von Baustoffen; Büro für Umweltchemie, Zürich 1998

5) Kasser, U.; Gebäude gesamtenergetisch beurteilt; Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr.13/1998, Zürich

Dimension du bâtiment	forte compacité	compacité moyenne	faible compacité
< 500 m ²	1 bâtiment à 2 niveaux, 1 sous-sol; plan carré	1 bâtiment à 2 niveaux, 1 sous-sol; plan en L	2 bâtiments à 2 niveaux, 1 sous-sol; plan rectangulaire, étage en porte-à-faux
A_e / SP	1.7	2.1	2.4
500 - 1'000 m ²	1 bâtiment à 4 niveaux, 1 sous-sol; plan carré	1 bâtiment à 3 niveaux et attique, 1 sous-sol; plan en L	3 bâtiments à 2 niveaux, 1 sous-sol; plan rectangulaire
A_e / SP	1.3	1.5	2.0
1'000 - 5'000 m ²	1 bâtiment à 5 niveaux, 1 sous-sol; plan rectangulaire	2 bâtiments à 4 niveaux et attique, 1 sous-sol; plan en L	3 bâtiments à 3 niveaux et attique, 1 sous-sol; plan en L
A_e / SP	1.0	1.3	1.7
5'000 - 10'000 m ²	1 bâtiment à 6 niveaux, 1 sous-sol; plan rectangulaire	1 bâtiment à 4 niveaux, 1 sous-sol; cour intérieure	2 bâtiments à 3 niveaux et attique, 1 sous-sol; plan en L
A_e / SP	0.8	1.0	1.1
10'000 - 15'000 m ²	1 bâtiment à 8 niveaux et attique, 1 sous-sol; plan en L	2 bâtiments à 4 et 6 niveaux et attique, 1 sous-sol; plan en L	4 bâtiments à 3 niveaux, 1 sous-sol; plan en L
A_e / SP	0.7	0.9	1.2
15'000 - 20'000 m ²	1 bâtiment à 6 niveaux, 1 sous-sol; plan en L et atrium	2 bâtiments à 5 niveaux, 1 sous-sol; plans en E	17 bâtiments à 4 niveaux, 1 sous-sol; plan rectangulaire
A_e / SP	0.6	0.9	1.2

Tab. III/2 Dimensions et formes de bâtiments pour les calculs de simulation

A_e / SP: Ratio de la surface de l'enveloppe A_e (aire totale y c. sous-sol) sur la surface des planchers SP. Plus ce ratio est petit, plus le bâtiment est compact

Trois variantes de compacité ont été développées, pour chacune de six tailles de bâtiments (Tab. III/2), de sorte à obtenir un éventail de 18 cas. Les formes choisies ont été dérivées de bâtiments existants et simplifiées; elles offrent des dispositions en plan et des possibilités d'éclairage naturel judicieuses. Les variantes vont du petit bâtiment compact à deux niveaux et 300 m² à un ensemble décomposé en 17 bâtiments totalisant près de 20'000 m² de surface de planchers.

Paramètre important supplémentaire, le type de construction a également été pris comme variable. A cet effet, il a fallu élaborer des valeurs de référence simplifiées pour l'énergie nécessaire à la construction (énergie grise) des principaux éléments du bâtiment. Les valeurs y relatives du tableau III/3 ci-dessous sont des moyennes dégagées d'un grand nombre de variantes d'exécution. Leur niveau d'affinement correspond à celui usuellement demandé au stade du concours en ce qui concerne la matérialisation des projets, et suffit donc pour leur évaluation. On a distingué trois exécutions de base pour la construction des planchers, toitures et façades. Les sous-sols et la dalle sur sous-sol sont en béton armé dans tous les cas. Les données détaillées utilisées pour la définition des valeurs de référence moyennes peuvent être consultées dans les tableaux annexés. L'énergie grise de chacune des 18 variantes de bâtiments selon tab.III/2 a été calculée pour les quatre types de construction sur la base des valeurs selon tab.III/3 ci-dessous.

Élément valeurs en MJ/m ²	construction lourde	construction mixte	construction légère en bois	constr. lourde très vitrée
plancher sous-sol	1'200	1'200	1'200	1'200
parois sous-sol non isolées	1'000	1'000	1'000	1'000
parois sous-sol isolées	1'500	1'500	1'500	1'500
dalle sur sous-sol	1'200	1'200	1'200	1'200
planchers hors sol	1'000	800	600	1'000
façades pleines	900	750	600	900
fenêtres selon matériaux des cadres	variable 1'050 - 4'500	variable 1'050 - 4'500	variable 1'050 - 4'500	5'200
toiture	2'000	1'425	850	2'000

Tab. III/3 Énergie grise d'éléments de construction (base pour le calcul de simulation de variantes de bâtiments)

Les analyses ont montré que la part des fenêtres joue un rôle important pour le calcul de l'énergie grise du bâtiment. Ainsi, la fabrication d'une fenêtre moyenne à cadre métallique et verre isolant avec 50% d'ouvrants demande environ quatre fois plus d'énergie que la même surface de façade pleine (cf. tab. III/3, et annexe tab. IV/2 et IV/4). On a, par conséquent, également fait varier la surface et le type de cadre des fenêtres dans les simulations précitées.

MJ/m² SRE Énergie grise calculée par modélisation de bâtiments

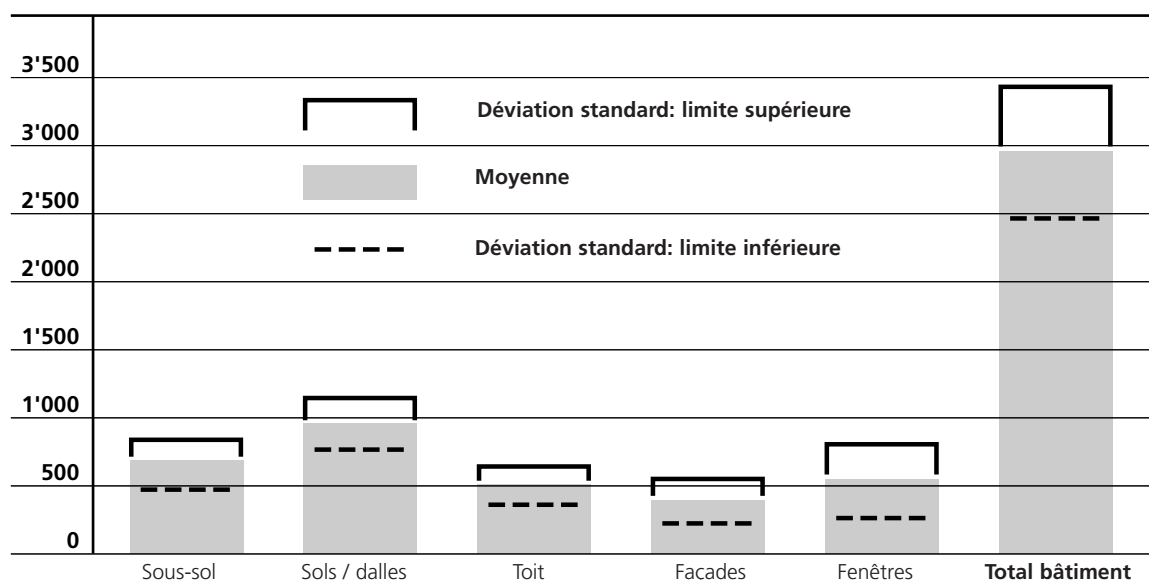


Fig. III/4 Éléments de construction: énergie grise moyenne et écarts-types, basés sur la simulation de plus de mille variantes de bâtiments (surface de référence énergétique = surface de plancher sans sous-sol).

Plus de 1000 variantes de bâtiments ont ainsi été simulées et analysées de façon statistique, en faisant varier les paramètres décrits (dimension, forme, type de construction, surface des fenêtres et matériau des cadres). La fig. III/4 montre les valeurs moyennes et les écarts-types obtenus, pour les bâtiments entiers et pour leurs composantes les plus importantes. L'écart-type est une donnée statistique qui représente le 95 % des valeurs s'écartant de la moyenne vers le haut ou vers le bas; il ne tient donc pas compte des 5 % de valeurs extrêmes. On parle d'un 'intervalle de confiance' de 95 %. Les simulations ont porté sur le gros œuvre des bâtiments, sans les parois ni aménagements intérieurs. Le taux de fenêtres par rapport à la surface totale des façades a varié de 5 à 65 %. Pour les cadres des fenêtres, les variantes 'bois', 'bois-métal', 'matière synthétique' et 'métal' ont été examinées.

Les simulations ont abouti sur le constat que l'énergie grise par m² de surface de plancher ne varie pas autant qu'on aurait pu l'imaginer au vu de la diversité des paramètres considérés. L'écart-type du gros œuvre des bâtiments simulés n'atteint que 15 %; il est même sensiblement plus bas pour la plupart des éléments analysés. En outre, il ressort de l'étude que l'énergie grise ne dépend pas autant du seul choix des matériaux qu'on le suppose généralement: la taille et la forme du bâtiment sont des paramètres tout aussi importants. Plus un bâtiment est grand et de forme compacte, et moins sa réalisation consommera d'énergie primaire par unité de surface de plancher. Le sous-sol et l'enveloppe contiennent, dans tous les cas d'espèce, entre 60 et 70 % de l'énergie grise totale du bâtiment. Plus l'enveloppe sera réduite pour une surface de planchers donnée, plus basse sera l'énergie grise pour la réalisation du bâtiment. Les fenêtres représentent un cas particulier: même en étant de surface réduite en comparaison avec les autres éléments, elles demandent beaucoup d'énergie grise qui, en plus, varie fortement en fonction de leur grandeur et du type de cadres. L'écart-type dépasse dans ce cas largement les 50 %.

La grandeur et la forme du bâtiment, le type de construction ainsi que le type et la surface des fenêtres sont donc les paramètres déterminants pour l'énergie grise d'un bâtiment. Ce constat a présidé à la conception de la méthode d'évaluation rapide décrite au ch. 2.2 de la partie II. Lorsque ces quatre données d'un projet sont connues, on peut évaluer grossièrement l'énergie grise du bâtiment projeté en appliquant les valeurs de référence dégagées des calculs de simulation.

La pertinence des résultats obtenus par les simulations a été vérifiée en les comparant aux résultats d'analyses de bâtiments réalisés pour lesquels on disposait de spécifications et de quantités précises de matériaux. Il peut être affirmé que la fiabilité des données est suffisante pour les types de bâtiments décrits dans le tableau III.3. Par contre, la méthode SNARC ne convient pas pour certains cas particuliers, tels les bâtiments de très grande hauteur, les garages enterrés ou les constructions légères en acier pour lesquelles on ne dispose pas encore de suffisamment de références et d'expérience.

Pour l'évaluation des ressources utilisées lors de rénovations, il n'a pas été possible de définir des règles élémentaires, voire une méthode simple d'usage général. Il sera nécessaire d'évaluer les ressources au cas par cas, sur la base des données spécifiques du projet qui doivent comprendre,

au moins, la surface de planchers concernée et l'inventaire des principaux travaux prévus. En disposant de ces informations, on pourra grossièrement évaluer l'énergie grise en appliquant les valeurs contenues dans le tableau du critère 2.2.2 de la partie II. Des valeurs un peu plus détaillées pour le calcul de l'énergie grise de divers travaux de rénovation sont également disponibles aux annexes sous IV/10 et IV/11. Il faut toutefois relever que la part de la phase de construction au total de l'énergie grise est nettement moins importante pour une rénovation que pour la construction d'un bâtiment neuf.

3.2.3 Ressources pour l'exploitation (chauffage)

Pour pouvoir comparer l'énergie grise de la construction d'un bâtiment avec celle de la phase d'exploitation, le besoin de chaleur pour le chauffage calculé selon la norme SIA 380/1 doit être converti en énergie primaire. L'énergie de chauffage mise à disposition dans les locaux sous la forme de chaleur est appelée énergie utile. La différence entre énergies primaire et utile correspond à l'ensemble des pertes de production, de transformation et de distribution de l'énergie. Avant leur transformation en chaleur, les agents énergétiques présents dans un bâtiment – le mazout dans la citerne, le gaz, le courant électrique dans la prise – sont des énergies finales. Leur mise à disposition nécessite l'extraction, la transformation et le transport d'énergie primaire: uranium naturel, pétrole, eau des lacs de barrage. La différence entre l'énergie primaire et l'énergie finale équivaut aux ressources nécessaires pour la mise à disposition de cette dernière. Le graphique sous point 2.3 de la partie II donne les facteurs de conversion. Les valeurs indiquées sont des moyennes, une plus grande précision n'est pas nécessaire au niveau du concours de projet.

4. Autres valeurs de référence

Toutes les valeurs indiquées ici sont forfaitaires et susceptibles d'être affinées pour des cas extrêmes. On peut les adapter aux cas particuliers à l'aide des données contenues dans l'annexe.

4.1 Aménagements intérieurs

Représentant entre 5 et 15 % du total, les ressources investies dans les aménagements intérieurs ne peuvent être estimées qu'à un stade avancé du projet. N'étant influencées ni par la taille ou la forme du bâtiment, ni par le type de construction, elles ne sont cependant pas d'une importance déterminante au stade du concours de projet. Sont déterminants, par contre, le niveau qualitatif des finitions et, dans une certaine mesure, la dimension des locaux. Si les surfaces des sols et plafonds sont proportionnelles aux surfaces de plancher, celles des parois sont influencées par la dimension des locaux: dans un local de 20 m² au sol, la surface totale des parois représente à peu près le double de celle du plancher. Ce facteur a été appliqué pour établir les valeurs de référence pour les aménagements intérieurs figurant en annexe au tableau IV/9.

4.2 Rénovation de façades

L'analyse des calculs de simulation de nombreux bâtiments a permis de mettre en évidence que les valeurs d'énergie grise ne varient pas aussi fortement qu'on aurait pu le croire, compte tenu des nombreuses variables à considérer. Il en résulte qu'on peut définir pour certains critères des valeurs de référence indépendantes du type de bâtiment et admettre, par exemple, que l'énergie grise des parties pleines des façades est de 200 à 500 MJ/m² SRE⁶⁾ dans la majorité des cas. En règle générale, l'ossature porteuse d'une façade suspendue correspond à 60 % environ de l'énergie grise d'une façade pleine, l'isolation et la peau de protection y compris ses sous-structures environ 40 %.

4.3 Changements d'affectation

L'énergie grise des parois intérieures n'est que peu influencée par la forme ou la taille du bâtiment ou par le type de construction: elle se situe généralement entre 200 et 300 MJ par m² de surface de planchers SP pour une disposition courante en plan. Par contre, celle des aménagements intérieurs peut fortement varier (cf. ch. 4.1). Une finition de qualité moyenne, sans faux-planchers ni plafonds suspendus, demande environ 400 MJ/m² SP. Lorsqu'un bâtiment n'offre que peu de flexibilité pour modifier l'ameublement, on admet que la moitié des parois intérieures et une partie des finitions seront à remplacer pendant son cycle de vie. Il en résulte donc une valeur de 300 MJ/m² SP environ pour une flexibilité d'ameublement réduite.

6) L'unité de référence est la surface de référence énergétique (SRE). La SRE utilisée dans les calculs de simulation est la somme des surfaces de plancher hors sol sans aucune correction pour les surhauteurs.

Les interventions sont plus lourdes lorsque la structure porteuse doit être modifiée à l'occasion d'un changement d'affectation: cela signifie généralement que des murs intérieurs porteurs doivent être remplacés par des piliers, voire que les parois et tout l'aménagement intérieur sont à refaire. Une analyse plus affinée tenant compte du cas particulier n'est pratiquement pas faisable. Pour une énergie grise de l'ordre de $1000 \text{ MJ/m}^2 \text{ SP}$, il est possible de remplacer des parois par des piliers reprenant des charges élevées et de renouveler les cloisons (cf. tableaux en annexe).

4.4 Installations techniques

Les réseaux de distribution verticale et horizontale des installations électriques, sanitaires et du chauffage sont remplacés au moins une ou deux fois pendant la vie d'un bâtiment. Les ressources nécessaires seront plus élevées lorsque leur disposition n'est pas assez flexible. L'énergie grise des installations du bâtiment est encore peu étudiée. Une recherche systématique et approfondie effectuée en Allemagne⁷⁾ arrive à la conclusion que leur part à l'énergie grise totale du bâtiment atteint au maximum entre 5 et 15 %, dont seulement 30 % environ pour les réseaux de distribution, même pour des installations de haut niveau avec collecteurs solaires et pompe à chaleur. Le supplément indiqué de $200 \text{ MJ/m}^2 \text{ SP}$ peut donc être considéré comme réaliste pour le remplacement complet des réseaux et de leurs accessoires.

7) Geiger, B., Fleissner, Th.; Flux de matériaux et d'énergies dans l'analyse du cycle de vie de bâtiments d'habitation; Rapport VDI 1328; Düsseldorf 1997

IV / Annexe: tableaux

Valeurs de référence pour bâtiments et parties de bâtiments

1. Remarques préliminaires

Les tableaux annexés contiennent des valeurs de référence pour l'énergie grise, destinées aux réflexions de plausibilité pendant l'examen préalable. Ils permettent de calculer ad hoc des valeurs de référence dans des cas particuliers. Pour des évaluations plus détaillées, il sera cependant nécessaire de disposer de spécifications constructives plus précises. Lorsque celles-ci ne font pas encore partie des projets, comme il est d'usage au stade des concours, les valeurs moyennes sont suffisantes.

Les valeurs pour les éléments sont classées par type de mise en œuvre et par niveau de précision. Le premier des quatre niveaux de précision porte sur des éléments généraux, peu détaillés en ce qui concerne le choix des matériaux et les techniques de mise en œuvre, tandis que le quatrième contient des valeurs se rapportant à des spécifications de matériaux plus précises. Les valeurs moyennes ont été extrapolées des données des niveaux plus détaillés en tenant également compte de la fréquence dans la pratique des solutions constructives concernées.

2. Bâtiments neufs

Toitures

Les valeurs indiquées se rapportent à la surface effective des toitures et en comprennent toutes les composantes y compris la structure porteuse.

Tab. IV/1 Toitures MJ/m² (surface effective)	niveaux de précision	
Toitures avec isolation thermique		
Toitures plates	1'800	
Toitures compactes		2'200
Toitures à étanchéité monocouche		1'800
Toitures froides		1'200
Toitures inclinées	800	
Toitures inclinées avec couverture métallique		1'200
Toitures inclinées avec tuiles en terre cuite ou fibrociment		600
Toitures sans isolation thermique		
Toitures plates	1'100	
Toitures inclinées	700	
Toitures inclinées avec recouvrement métallique		1'100
Toitures inclinées avec tuiles en terre cuite ou fibrociment		500

Parois extérieures

Les valeurs pour les parois extérieures se rapportent à la surface effective de celles-ci. Elles comprennent toutes les composantes y compris la structure porteuse, mais sans les doublages, crépisages et finitions intérieurs.

Tab. IV/2 Parois extérieures pleines MJ/m² (surface effective)	niveaux de précision	
Parois extérieures	800	
Isolation thermique extérieure crépie	750	
Doublages extérieurs de façade	900	
Doublages extérieurs de façade en métal		1'200
Doublages extérieurs de façade en fibrociment		850
Doublages extérieurs de façade en verre		900
Doublages extérieurs de façade en lambrissage de bois		500
Doublages extérieurs de façade en contreplaqué		650
Doublages extérieurs de façade en pierre naturelle /artificielle		1'000
Maçonneries à double paroi	1'100	
béton / maçonnerie		1'250
maçonnerie / maçonnerie		1'000
Béton cellulaire crépi	700	
Maçonnerie légère crépie	750	
Paroi avec ossature de bois	600	
Béton apparent avec isolation thermique intérieure	800	

Façades vitrées

L'énergie grise de façades vitrées (tab. IV/3) est nettement supérieure à celle de fenêtres normales. Compte tenu de la multitude de solutions constructives disponibles, les exemples indiqués ne sont pas forcément représentatifs. L'énergie grise des façades vitrées est fortement conditionnée par la quantité de profilés métalliques et nettement moins par celle du verre.

Tab. IV/3 Façades vitrées MJ/m ² (surface effective)	niveaux de précision
Façades vitrées	4'500
Structure à montants et traverses en aluminium et acier, triple verre, y.c. fixations aux dalles; 60 % d'ouvrants, motorisés; U = 1.00 W/m ² K	5'200
Structure à montants et traverses en aluminium et acier, triple verre, y.c. fixations aux dalles; 30 % d'ouvrants, motorisés; U = 1.00 W/m ² K	3'750
Façade à double peau, double vitrage intérieur et simple vitrage extérieur, structure porteuse intérieure en bois et extérieure en acier/alu; 50 % d'ouvrants; y.c. fixations et plancher caillebotis à chaque étage; U = 0.86 W/m ² K	3'600
Façade à double peau, double vitrage intérieur et vitrage ventilé à lamelles à l'extérieur, structure à montants et traverses en bois et aluminium; 30 % d'ouvrants, motorisés; compris fixations et plancher caillebotis à chaque étage; U = 0.86 W/m ² K	4'800

Fenêtres

Les paramètres les plus importants pour l'énergie grise des fenêtres sont la dimension, la subdivision et la proportion d'ouvrants (part du cadre), le matériau du cadre et le remplissage de gaz du verre isolant. Le nombre de ces paramètres et les grands écarts entre types de fenêtres justifient les niveaux de précision indiqués dans le tableau ci-dessous. Les valeurs correspondent à des verres remplis d'argon avec un coefficient de transmission thermique U = 1.3 W/m²K. Les verres au krypton et au xénon sont nettement plus gourmands en énergie grise ; il manque des données sur ces valeurs. Les cadres choisis sont de bonne qualité et ont de bons coefficients de transmission thermique. Les dimensions indiquées sont les vides de taille du gros œuvre. La dimension des fenêtres est déterminée par la part du cadre: sont 'grandes' les fenêtres dont la part du cadre est ≤ 15 %, et 'petites' celles avec ≥ 30 % de cadres.

Tab. IV/4 Fenêtres y.c. cadres et verres MJ/m² (surface effective)	niveaux de précision	
Fenêtres	2'500	
Fenêtres en bois	1'050	
Fenêtres en bois avec ouvrants		1'150
Fenêtres en bois avec ouvrants, grandes		920
Fenêtres en bois avec ouvrants, moyennes		1'100
Fenêtres en bois avec ouvrants, petites		1'400
Fenêtres en bois fixes		1'000
Fenêtres en bois fixes, grandes		760
Fenêtres en bois fixes, moyennes		940
Fenêtres en bois fixes, petites		1'150
Fenêtres bois-métal	1'800	
Fenêtres bois-métal avec ouvrants		2'200
Fenêtres bois-métal avec ouvrants, grandes		1'650
Fenêtres bois-métal avec ouvrants, moyennes		2'150
Fenêtres bois-métal avec ouvrants, petites		2'800
Fenêtres bois-métal fixes		1'500
Fenêtres bois-métal fixes, grandes		1'150
Fenêtres bois-métal fixes, moyennes		1'470
Fenêtres bois-métal fixes, petites		1'900
Fenêtres en matières synthétiques	2'000	
Fenêtres en matières synthétiques avec ouvrants		2'350
Fenêtres en matières synthétiques avec ouvrants, grandes		1'770
Fenêtres en matières synthétiques avec ouvrants, moyennes		2'300
Fenêtres en matières synthétiques avec ouvrants, petites		3'050
Fenêtres en matières synthétiques fixes		1'600
Fenêtres en matières synthétiques fixes, grandes		1'200
Fenêtres en matières synthétiques fixes, moyennes		1'550
Fenêtres en matières synthétiques fixes, petites		2'030
Fenêtres en métal (profilés isolés)	4'500	
Fenêtres en métal avec ouvrants		5'950
Fenêtres en métal avec ouvrants, grandes		4'200
Fenêtres en métal avec ouvrants, moyennes		5'750
Fenêtres en métal avec ouvrants, petites		7'900
Fenêtres en métal fixes		3'400
Fenêtres en métal fixes, grandes		2'400
Fenêtres en métal fixes, moyennes		3'250
Fenêtres en métal fixes, petites		4'500

Planchers

Les planchers sont comptés bruts, sans chapes, revêtements et traitements de surface. L'énergie grise des dalles en béton est déterminée en premier lieu par le taux d'armature qui dépend, pour sa part, des portées et des charges utiles. Les écarts ne sont pourtant pas très importants. Le tableau IV/5 contient des valeurs pour des dalles sur appuis ponctuels; pour les dalles de grandes portées sur appuis linéaires, ces valeurs sont à réduire de 100 à 200 MJ. Les planchers à ossature bois ou en acier sont également des constructions brutes qui demandent généralement des moyens additionnels importants pour la protection contre l'incendie et l'isolation acoustique.

Tab. IV/5 Planchers MJ/m² (surface effective)	niveaux de précision	
Planchers bruts	750	
Dalle béton 20 cm sur piliers	800	
portée 5 m		550
portée 6 m		700
portée 7 m		850
portée 8 m		1'000
portée 9 m		1'200
dalle nervurée préfabriquée, 3 x 14 m		700
Acier / caissons en bois	2'500	
Poutraison bois	500	
Caissons en bois	750	

Sous-sols

L'énergie grise des sous-sols selon tableau IV/6 se rapporte au volume. On part du constat que les sous-sols sont presque toujours réalisés en béton armé. Le paramètre le plus important est la dimension du fait que la plus grande part de l'énergie grise se situe dans le radier ou dallage et dans les parois extérieures. L'isolation thermique extérieure peut également avoir une certaine incidence.

Tab. IV/6 Sous-sols MJ/m³	niveaux de précision	
Sous-sols	800	
Sans dalle sur sous-sol, non isolé, y c. aménagements int. (> 1000m ³)		600
Sans dalle sur sous-sol, non isolé, y c. aménagements int. (< 1000m ³)		800
Sans dalle, partiellement isolé, y c. aménagements int. (> 1000m ³)		800
Sans dalle, partiellement isolé, y c. aménagements int. (< 1000 m ³)		1'000
Garage enterré y c. dalle et piliers (> 1000m ³)		700

Piliers

Les données pour les piliers sont semblables à celles des dalles: le paramètre principal pour l'énergie grise est le taux d'armatures, lui-même déterminé par les contraintes statiques. Les valeurs du tableau A.7 sont des moyennes entre piliers bétonnés sur place et préfabriqués. Les valeurs du tableau doivent être majorées de 10% environ pour les piliers bétonnés sur place, en raison de leur taux d'armatures légèrement supérieur pour une condition statique donnée, et diminuées d'autant pour les piliers préfabriqués. Le facteur 'K' du tableau est le produit du nombre d'étages par les portées longitudinales et transversales.

Tab. IV/7 Piliers MJ/pce (longueur 3 mètres)	niveaux de précision	
Piliers	3'000	
Piliers en acier avec doublage anti-feu	2'000	
Piliers en béton armé	3'500	
K = 567 (7 étages x 9 x 9 m de portée), 50 x 50 cm		11'500
K = 486 (6 étages x 9 x 9 m de portée), 45 x 45 cm		9'000
K = 384 (6 étages x 8 x 8 m de portée), 40 x 40 cm		7'200
K = 294 (6 étages x 7 x 7 m de portée), 35 x 35 cm		5'500
K = 180 (5 étages x 6 x 6 m de portée), 30 x 30 cm		3'500
K = 100 (4 étages x 5 x 5 m de portée), 25 x 25 cm		2'000
K = 48 (3 étages x 4 x 4 m de portée), 20 x 20 cm		1'000

Parois intérieures

Les valeurs pour les parois intérieures varient relativement peu. La fonction statique influence plus fortement l'énergie grise que le matériau utilisé. En admettant 500 MJ/m² comme valeur moyenne, on couvre pratiquement tous les types de parois intérieures, y compris les cloisons légères qui peuvent même dépasser cette valeur pour des exigences acoustiques élevées.

Tab. IV/8 Parois intérieures MJ/m² (surface effective)	niveaux de précision	
Parois intérieures	500	
Porteuses	600	
Maçonnerie simple		550
Maçonnerie extra lourde		700
Maçonnerie avec doublage phonique (carton-plâtre)		600
Béton apparent, charges et portées normales		550
Béton apparent, charges et portées plus élevées		600
Maçonnerie à double paroi		850
Non porteuses	400	
Cloisons légères à ossature		450
Panneaux de plâtre cartonné, atténuation acoustique > 50 dB		550
Panneaux de plâtre cartonné, atténuation acoustique < 50 dB		350
À ossature en bois		300
En briques (12 cm)		400

Aménagements intérieurs

Toutes les couches sont comptées à partir de la structure brute et métrées en surfaces effectives. Les valeurs indiquées sont des moyennes peu affinées et sujettes à de gros écarts, étant donné que le choix des matériaux et des détails ne se fait généralement que peu avant l'exécution. Les revêtements de sols et de plafonds peuvent facilement être rapportés à la surface de référence énergétique. Etant donné que le rapport entre les surfaces des parois et du sol est d'environ 2,5 pour un local de 20 m², les finitions des parois peuvent également être exprimées par rapport à celles-ci, voire une autre surface utile du bâtiment.

Tab. IV/9 Aménagements intérieurs MJ/m² (surface effective)	niveaux de précision	
Revêtements de sol	300	
Sans joints	300	
Sol en béton dur, 2 couches		200
Sol industriel à base de magnésie, 2 couches		200
Sol en asphalte coulé		500
Sol en mortier de résine synthétique sur chape		300
Sol en revêtement de résine synthétique sur chape		350
Chapes à liants minéraux (d=6 cm)	175	
Chape ciment		200
Chape anhydrite		150
Avec joints	250	
Bois sur chape		225
Lés synthétiques souples sur chape		250
Textiles sur chape		300
Faux planchers	500	
Revêtements de plafonds	150	
Plafonds suspendus métalliques	250	
Plafonds suspendus plâtre, bois ou dérivés du bois	100	
Plafonds acoustiques simples	100	
Enduit et peinture	50	
Revêtements de parois	100	
Peintures	75	
Dispersion sur parois		25
Système de vernis sur bois, métaux etc.		50
Papiers peints et peinture		100
Revêtements	150	
Crépissage et peinture		50
Lambrissages peints		100
Revêtements en panneaux de plâtre ou analogue et peinture		250

3. Rénovations

Toitures

Le tableau IV/10 contient les valeurs de l'énergie grise pour les types de toitures les plus importants, structures porteuses non comprises, avec des isolants thermiques courants d'une épaisseur de 14 cm. Elles se rapportent à la surface effective de la toiture et doivent être converties pour les estimations exprimées par rapport aux surfaces de plancher du bâtiment.

Tab. IV/10 Toitures MJ/m² (surface effective)	niveaux de précision	
Rénovations de toitures avec isolation thermique	900	
Toitures plates	1'000	
Toiture compacte		1'300
Toiture avec étanchéité monocouche synthétique		900
Toiture froide		800
Toitures inclinées	800	
Toiture inclinée avec couverture métallique		1'100
Toiture inclinée avec tuiles en terre cuite ou fibrociment		500
Rénovations de toitures sans isolation thermique	750	
Toitures plates	900	
Toitures inclinées	600	
Toiture inclinée avec couverture métallique		950
Toiture inclinée avec tuiles en terre cuite ou fibrociment		400

Façades

Le tableau IV/11 contient les valeurs de l'énergie grise pour des systèmes courants de rénovation de façades, structures porteuses non comprises, rapportées à la surface de planchers sans sous-sols. Ces valeurs ne sont directement utilisables que pour des bâtiments de taille moyenne (7'500 m²) et de forme plutôt compacte. La part de la façade à l'énergie grise de l'ensemble du bâtiment est plus grande, plus celui-ci est petit et peu compact.

Tab. IV/11 Façades MJ/m² SRE*	niveaux de précision	
Rénovation de parois extérieures	150	
Isolations thermiques extérieures crépies	100	
Crépi isolant	300	
Doublages extérieurs de façades y compris isolation	200	
avec revêtement extérieur en métal		350
avec revêtement extérieur en fibrociment		200
avec revêtement extérieur en verre		200
avec revêtement extérieur en lambrissage de bois		50
avec revêtement extérieur en contreplaqué		100
avec revêtement extérieur en pierre naturelle /artificielle		250
Doublage sur paroi existante, y compris isolation	300	
en béton		350
en maçonnerie		250

* Ces valeurs se rapportent à la surface de référence énergétique SRE. Pour simplifier, on peut les calculer comme surface de planchers sans sous-sol. Elles se réfèrent à un bâtiment de dimension moyenne.