

Evaluation du LIDAR et de solutions innovantes pour la chaîne d’approvisionnement du bois : les résultats du projet européen FlexWood

Le projet de recherche européen FlexWood (« Flexible wood supply chain ») avait pour objectif de développer et construire une chaîne d’approvisionnement du bois plus flexible et plus efficiente, en s’appuyant sur l’utilisation du LIDAR et de solutions innovantes, telles que des systèmes de planification améliorés, de façon à permettre une meilleure adéquation entre l’offre de bois et la demande des industriels. Une tâche était consacrée en fin de projet à l’évaluation du concept. Cette analyse a été réalisée à partir de quatre cas d’étude, sur des sites d’expérimentation où le LIDAR et différentes pratiques innovantes ont été mis en œuvre et testés.

Description des cas d’étude

Les quatre cas d’étude sont situés en France, en Allemagne, en Suède et en Pologne. S’ils partagent tous un objectif commun de fonction productive de la forêt, ils présentent également de nombreuses différences à la fois en termes de surface, de structure de la ressource forestière et d’objectifs poursuivis dans le projet FlexWood (Tableau 1). En termes d’objectifs, les quatre cas d’étude cherchent en premier lieu à améliorer la connaissance de la ressource grâce à la technologie du LIDAR (TLS et/ou ALS). Certains projets sont allés plus loin en développant également de nouveaux systèmes et modèles numériques (intégrant la connaissance améliorée de la ressource) au niveau de la phase des opérations de récolte ou de la spécification de la demande de bois rond par les scieries, de façon à permettre une meilleure adéquation entre l’offre et la demande (cas suédois et français).

L’approche méthodologique

Une méthodologie d’évaluation commune a été développée et appliquée pour chaque cas d’étude à travers un questionnaire. L’approche méthodologique repose sur la comparaison entre un scénario « Business as usual » (BAU) et un scénario « FlexWood » en différents points de la chaîne d’approvisionnement (inventaire de la ressource, planification de l’exploitation forestière, récolte, logistique, production (scieries) et infrastructure de communication) et l’analyse des principaux changements, notamment en termes de technologies utilisées, de process et de résultats obtenus (Figure 1). Cette analyse qualitative a été complétée par le calcul d’indicateurs clés, de façon à capter les principaux impacts du LIDAR et des autres innovations mises en œuvre le long de la chaîne d’approvisionnement, en termes de coûts d’inventaire, de productivité, de services rendus au client...

Le LIDAR

La technologie LIDAR (Light Detection and Ranging) est un outil de télédétection basée sur l’analyse d’un signal laser qu’il émet puis reçoit. Cet outil peut être utilisé à terre (TLS) ou aéroporté (ALS). Le LIDAR a des applications multiples, en archéologie, agriculture, aménagement de territoire... Dans le domaine forestier, le LIDAR permet de collecter des données précises sur la dendrométrie des arbres.

	France	Allemagne	Suède	Pologne
Situation géographique	Sud-Ouest (Aquitaine)	Sud-Ouest (Karlsruhe)	Centre (Osterbybruck)	Nord-Est
Surface (ha.)	6 000	2 200	16 000	6 400
Essences	Pin maritime	Pin sylvestre (60 %) Hêtre (40 %)	Pin sylvestre (50 %) Norway spruce (40 %) Bouleau (10 %)	Pin (72 %) Hêtre (7 %) Chêne (6,5 %) Aulne (5 %)...
Structure de la ressource (au niveau parcelle)	Homogène	Relativement hétérogène	Relativement homogène	Relativement homogène
Objectifs du cas d'étude	<ul style="list-style-type: none"> • Améliorer la connaissance de la ressource forestière (volume/qualité) • Définir de meilleures spécifications du bois rond par les industriels (scieries) • Simuler différents scénarios de récolte basés sur une connaissance de la ressource améliorée et de meilleures spécifications du bois rond • Développer une application web pour présenter les nouvelles informations 	<ul style="list-style-type: none"> • Améliorer la connaissance de la ressource forestière (volume/qualité) 	<ul style="list-style-type: none"> • Améliorer la connaissance de la ressource forestière (volume/qualité) • Intégrer une nouvelle fonctionnalité dans le système de planification d'exploitation du bois (VSOP-software) pour tirer profit des meilleures données sur la ressource et améliorer les simulations de tronçonnage et les instructions de récolte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Améliorer la connaissance de la ressource forestière (volume/qualité)
Technologies et outils mis en œuvre	LIDAR (principalement TLS + ALS) <ul style="list-style-type: none"> • Simulateur de tronçonnage • Interface de communication 	LIDAR (combinaison de TLS et ALS)	LIDAR (principalement ALS + TLS + images hyperspectrales) <ul style="list-style-type: none"> • Modèle d'optimisation 	LIDAR (TLS)

Tableau 1 : Caractéristiques et objectifs des cas d'étude

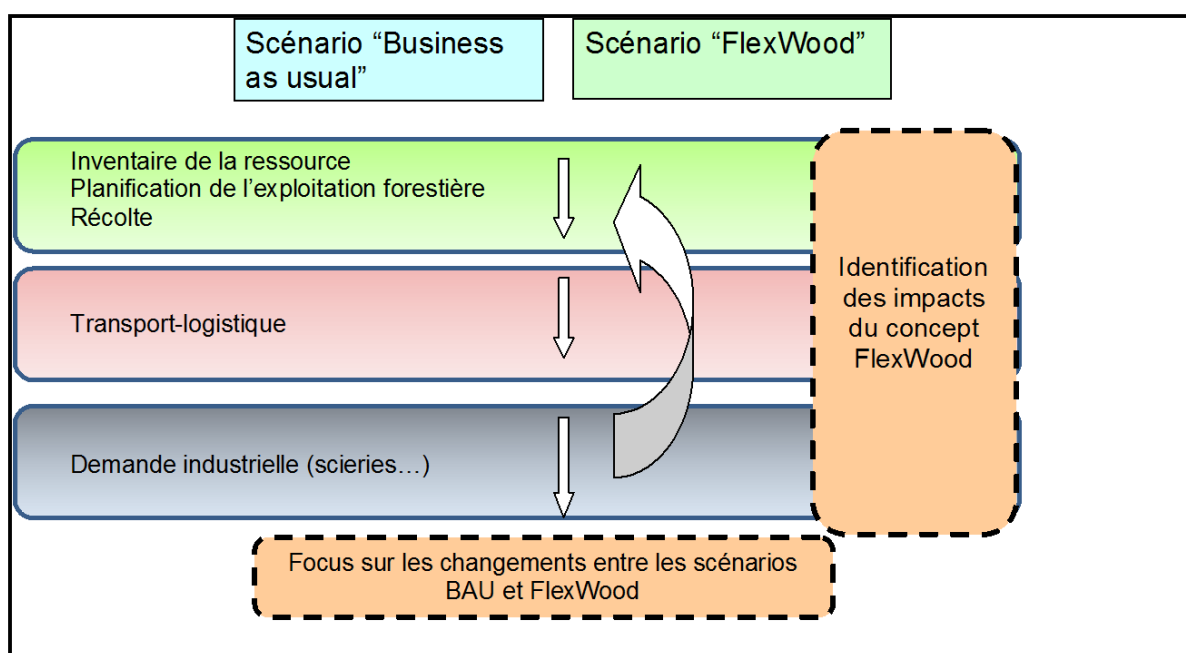


Figure 1 : L'approche scénario

Principaux résultats

Une connaissance de la ressource enrichie

Un des objectifs communs aux quatre cas d'étude était de tester, en premier lieu, la capacité de la technologie LIDAR à fournir des données plus nombreuses et plus précises sur la ressource forestière. Dans cette optique, chaque site d'expérimentation a procédé à des campagnes de collecte de données à l'aide du LIDAR aérien et/ou terrestre (scénario FlexWood) et a comparé les résultats obtenus avec les méthodes d'inventaire traditionnelles, essentiellement manuelles (scénario BAU).

Dans le cas d'étude suédois, le LIDAR aérien (ALS) apparaît comme la meilleure source de données pour estimer la position géographique d'un arbre et,

décolant de cela, le nombre d'arbres positionnés sur une surface de récolte. La technique « SingleTree® » développée par le prestataire de services FORAN permet d'identifier et de mesurer chaque arbre au niveau individuel à partir d'un inventaire basé sur le LIDAR aérien. L'ALS fournit également, pour les arbres détectés, des estimations précises sur leur taille, incluant la hauteur et le diamètre (DBH). Le LIDAR terrestre (TLS), quant à lui, est particulièrement efficace pour estimer le diamètre (DBH) et la forme de l'arbre (conicité). C'est également une des meilleures méthodes avec les mesures de terrain pour définir les propriétés externes de l'arbre, qui peuvent ensuite être utilisées pour déduire des informations sur la qualité intérieure du bois (comme la présence de nœuds). Dans le cas d'étude français (Aquitaine), le LIDAR terrestre a par exemple permis de mesurer la hauteur des branches, donnée qui peut ensuite être intégrée dans des modèles de qualité capables d'établir des prédictions sur les caractéristiques anatomiques du pin maritime.

Cas d'études	Télétection aéroportée		Mesures au sol		
	ALS	Capteurs optiques	TLS	Inventaire manuel	Abatteuse
France					
Hauteur totale	X		(X)	(X)	
Circonférence à 1.30 m	(X)		X	X	
Hauteur de la 1ère branche verte	(X)		X	(X)	
Hauteur de la 1ère branche morte			X	(X)	
Forme : conicité			X		
Forme : rectitude			X		
Volume unitaire moyen	(X)		X	(X)	
Age				X	
Allemagne					
Hauteur de l'arbre	X			(X)	
Hauteur couronne	X		X	(X)	
Rayon/diamètre de la couronne	X		(X)	(X)	
Diamètre (DBH)			X	X	
Diamètre à 7 mètres de haut			X	X	
Conicité			X		
Rectitude			X		
Hauteur branche			X	(X)	
Diamètre (branche)			X	(X)	
Essences	(X)		(X)	X	
Suède					
(au niveau de l'arbre)					
Position géographique	X		(X)		
Diamètre (DBH)	X		X		
Conicité			X		
Hauteur	X				
Age des arbres				X	
Essences	(X)	X		(X)	(X)
Propriétés externes			X		X

X / X : indiquent les meilleures sources de données

(X) : indique des approches alternatives

Informations non disponibles pour la Pologne

Source : Vauhkonen et al. (2012) ; Vuillemoz et al. (2012)

Tableau 2 : Comparaison des méthodes d'inventaire selon le type de données

D'un point de vue global, les quatre cas d'étude ont montré que l'utilisation du LIDAR pour les inventaires forestiers améliore l'information sur la ressource, à la fois en volume et en qualité. De plus, le LIDAR permet une automatisation de la collecte et du traitement des données, qui se traduit par des gains de temps mais aussi par une plus grande homogénéité des données obtenues.

Néanmoins, la technologie LIDAR a également montré des limites. En particulier, elle n'est pas efficace aujourd'hui pour fournir des données sur l'âge des arbres et les espèces, même si combinée à d'autres méthodes, l'ALS pourrait être une approche alternative aux inventaires manuels sur le terrain pour détecter les essences. D'autre part, les cas d'étude allemand et polonais ont mis en évidence les difficultés à obtenir, pour le moment, des données fiables dans le cas de peuplements forestiers très hétérogènes.

Des instructions de découpe (chantier) optimisées

Dans le cas suédois, le projet FlexWood avait également comme objectif d'améliorer les simulations de tronçonnage et les instructions de chantier en s'appuyant sur la connaissance enrichie de la ressource obtenue par le LIDAR. Pour cela, de nouvelles fonctionnalités ont été développées et intégrées dans le système existant de planification de la récolte afin d'exploiter les nouvelles données. En améliorant la planification des activités de récolte, l'objectif est d'obtenir une meilleure adéquation entre l'offre et la demande des industriels. Le modèle développé par les partenaires suédois dans le cadre du projet FlexWood a été testé dans des conditions réelles, donnant lieu à des instructions de récolte effectives.

Des spécifications de bois ronds améliorées

Au-delà de la mise en œuvre du LIDAR, le cas français a également travaillé sur la définition de spécifications enrichies des bois ronds utilisées par les clients tels que les scieries pour exprimer leur demande. En particulier, l'intégration des critères de qualité du bois a été étudiée permettant une meilleure description du produit attendu, notamment en termes de caractéristiques anatomiques. Des simulations de tronçonnage dans le cadre de scénarios de récolte ont ensuite été testées intégrant à la fois les nouvelles données du LIDAR et les spécifications de bois ronds améliorées. Les modèles développés doivent encore être améliorés mais sont

désormais opérationnels. Enfin, une interface Web a été développée pour tester ces scénarios¹.

Des coûts d'inventaire élevés...

Dans le cadre d'une évaluation technico-économique, une nouvelle technologie doit montrer sa capacité à rendre les systèmes de production et les process plus efficaces à un coût acceptable. Une comparaison des coûts d'inventaire a donc été effectuée entre le scénario BAU (sans LIDAR) et le scénario FlexWood (avec LIDAR). Les résultats obtenus par les quatre cas d'étude divergent non seulement selon leurs caractéristiques propres (surfaces scannées, structure de la ressource...) mais aussi selon le scénario FlexWood retenu (utilisation combinée ou non des données ALS et TLS).

Le tableau 3 montre que seul le cas d'étude suédois présente des coûts d'inventaire moins élevés dans le scénario FlexWood car, d'une part, les données ALS suffisent dans le cas suédois pour remplacer les méthodes d'inventaire utilisées dans le scénario BAU et que, d'autre part, le coût du LIDAR aérien génère des économies d'échelle grâce à une mise en œuvre sur une grande surface (16 000 hectares).

	Scenario BAU	Scenario FlexWood	
		ALS	TLS
Cas d'étude allemand (sur 2 200 ha)	22 155 € ⁽²⁾ (35€/placette)	16 200 – 17 300 € ⁽²⁾	12 660 – 15 825 € ⁽²⁾ (20-25€/placette)
Cas d'étude polonais (sur 6 400 ha)	10-15 €/ha ⁽³⁾	(4)	15-20 €/ha ⁽³⁾
Cas d'étude suédois (sur 16 000 ha)	150 €/ha ⁽⁵⁾ 12 €/ha ⁽⁶⁾	6 €/ha ⁽⁵⁾ 4 €/ha ⁽⁶⁾	(7)

Tableau 3: Coûts d'inventaire dans le scénario FlexWood versus BAU (1)

- (1) Pour le cas français, aucune valeur monétaire n'est disponible. Les experts interrogés estiment toutefois les coûts du LIDAR plus élevés que les coûts induits par le scénario BAU.
- (2) Coûts de collecte et de traitement
- (3) Coûts de collecte des données
- (4) A titre indicatif, des données ALS ont été acquises à un coût moyen de 2-3 €/ha.
- (5) Mesure du diamètre et de la hauteur de tous les arbres
- (6) Inventaire du diamètre moyen, de la hauteur et volume
- (7) Le cas suédois a réalisé un inventaire TLS mais les données n'ont pas été exploitées à ce jour. A titre indicatif, la campagne de collecte des données TLS a coûté 6 600 € sur la base de 58 placettes/échantillons.

¹ Des informations plus détaillées sur le cas d'étude français peuvent être trouvées dans l'article FCBA INFO dédié : Vuillermoz et Arraiolos (2013).

Dans les trois autres cas, la mise en place du LIDAR implique des coûts d'inventaire plus élevés par rapport au scénario BAU. En particulier, ils sont beaucoup plus élevés dans le cas allemand (entre + 30 et + 50 %) du fait de l'utilisation combinée des données ALS et TLS et d'une surface à scanner trop faible pour permettre des économies d'échelle via le LIDAR aérien.

... qui peuvent être compensés par des bénéfices

Les coûts d'inventaire élevés résultant de la mise en œuvre du LIDAR peuvent être compensés par des gains obtenus le long de la chaîne d'approvisionnement. En effet, le calcul d'indicateurs clés pour les différents cas d'étude montrent systématiquement une amélioration (déjà observée ou attendue) dans le scénario FlexWood par rapport au scénario au fil de l'eau (BAU) à la fois en termes de productivité, d'organisation, de satisfaction client et de valorisation du produit (Tableau 4).

Les gains les plus significatifs sont observés pour le « temps de livraison » avec une baisse importante du temps nécessaire pour répondre à la demande des clients (environ 10 jours) entre le scénario BAU et le scénario FlexWood. Dans le cas suédois, la productivité de l'acteur en charge de l'approvisionnement (*forest manager*) augmente également de façon importante grâce aux modèles d'optimisation intégrés dans les systèmes de planification des récoltes. Le concept FlexWood devrait également permettre d'améliorer sensiblement la valeur des produits forestiers, en particulier pour les propriétaires forestiers, via une meilleure optimisation du mix produit. Dans le cas français, les professionnels interrogés s'attendent à une amélioration significative de la satisfaction client, à la fois en termes de délai de livraison et de respect du cahier des charges, ce qui confirme le potentiel du concept FlexWood dans sa capacité à renforcer l'adéquation entre l'offre et la demande.

Indicateurs	Définition	WSC	France		Allemagne		Suède	
			BAU	FlexWood	BAU	FlexWood	BAU	FlexWood
Productivité	Temps passé par le « forest manager » / m3 pour organiser la réponse à la demande du client	Inventaire de la ressource et planification de l'exploitation forestière	n.d.	n.d.	2 heures/ 100 m3	1,7 heures/ 100 m3	2 heures/ 100 m3	1 heure/ 100 m3
				+		+		++
Délai de livraison	Temps en jours entre la commande du client et la livraison	Production (scieries)	n.d.	n.d.	28 jours	17-20 jours	30 jours	20 jours
				++		++		++
Respect du cahier des charges	Mesure le taux de satisfaction du client	Production (scieries)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
				++		n.d.		+
Taux de stockage	Niveau de congestion des plate-formes en forêt et bords de route	Récolte	n.d.	n.d.	10 %	5 %	12 %	8 %
				+		+		+
Valorisation du produit	Valeur monétaire du mix produit	Planification de l'exploitation forestière et récolte	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
				+		+		++

- Code police : **observé** ; estimation projetée

- Note de lecture : si l'estimation numérique n'est pas possible, l'évaluateur donne une évolution de l'indicateur entre les deux scénarios à l'aide d'une tendance (++, +, -, --). BAU est la situation de référence, + indique une amélioration de l'indicateur et - une dégradation.

- Données non disponibles pour la Pologne

Tableau 4 : Indicateurs d'évaluation du concept FlexWood

En résumé, l'ensemble des résultats obtenus à travers l'analyse qualitative et quantitative des cas d'étude peut être synthétisé dans la matrice SWOT ci-dessous (Tableau 5) :

Forces	Faiblesses
<p>Une meilleure information sur la ressource (volume and qualité)</p> <p>Capacité à cartographier de grandes surfaces en peu de temps (ALS)</p> <p>Des coûts unitaires plus faibles pour l'inventaire forestier basé sur l'ALS à une échelle de mise en oeuvre large (par ex., cas suédois – 16000 ha)</p> <p>Améliore la prédictabilité le long de la chaîne d'approvisionnement grâce aux données plus précises et aux modèles d'optimisation.</p> <p>Meilleure productivité pour les opérations de planification de la récolte.</p> <p>Diminution du taux de stockage en forêt et en bord de route.</p> <p>Meilleure satisfaction client</p> <p>Meilleure valorisation du mix produit</p>	<p>Difficultés aujourd'hui à obtenir les essences précises à travers le LIDAR</p> <p>Difficultés à obtenir de l'information fiable pour les forêts très hétérogènes (par ex., cas allemand).</p> <p>Coûts de mis en oeuvre du LIDAR (ALS) élevés pour les petites surfaces (par ex., cas allemand – 2000 ha)</p> <p>Technologie encore perfectible à la fois au niveau de la collecte et du traitement des données.</p>
Opportunités	Menaces
<p>La collecte de données LIDAR pourrait générer une dynamique collective au sein du secteur forestier et en dehors (agriculture, aménagement du territoire...).</p> <p>Pourrait être un levier d'action pour répondre aux besoins croissants (bois-construction, bois-énergie) et à la nécessité d'utiliser la ressource de façon efficiente dans les contextes d'approvisionnement tendus.</p> <p>Les métiers de l'approvisionnement pourraient devenir plus attractifs grâce à un contenu technologique plus élevé.</p>	<p>Problème d'acceptabilité : le personnel en place peut être réticent à adopter de nouvelles technologies et méthodes.</p> <p>Non optimisation du LIDAR si les systèmes de traitement des données et de planification ne peuvent pas intégrer les données LIDAR.</p> <p>Non optimisation du LIDAR si les autres étapes de la chaîne logistique ne sont pas améliorés (logistique, spécifications de la demande, systèmes de communication...).</p>

Tableau 5 : Analyse SWOT du concept FlexWood

Conclusion

D'un point de vue global, le concept FlexWood et ses différentes composantes (inventaire forestier amélioré, modèles d'optimisation pour la planification de la récolte, meilleures spécifications du bois rond...) ont montré leur capacité ou leur potentialité à accroître la prédictabilité le long de la chaîne d'approvisionnement et à renforcer l'adéquation entre l'offre de bois et la demande des industriels. Des améliorations sont encore nécessaires mais de nouveaux modèles et nouvelles pratiques ont été développés dans le cadre du projet FlexWood et la preuve du concept est établie.

Néanmoins, les cas d'étude ont également souligné le fait que le LIDAR n'était pas, aujourd'hui, pertinent pour toutes les situations, selon la surface forestière considérée et l'homogénéité de la ressource notamment.

A partir des cas d'étude analysés, il est ainsi possible d'établir quelques résultats clés relatifs à la mise en oeuvre de la technologie LIDAR dans une logique d'amélioration de la chaîne d'approvisionnement du bois :

- Le LIDAR aérien est surtout pertinent dans le cas de larges surfaces à scanner avec une ressource relativement homogène. Dans ce cas, la technologie s'avère effectivement rentable et offre une information sur la ressource plus riche et plus précise.
- A l'inverse, pour une information basique, le LIDAR n'est pas pertinent pour les petites surfaces du fait de coûts de collecte des données élevés.
- De même, actuellement, le LIDAR n'est pas adapté pour traiter les forêts hétérogènes en termes de ressources (besoin d'améliorer la technologie).

- Le LIDAR devrait être encore plus performant combiné avec d'autres technologies de télédétection (par exemple, TLS + Photographie).
- Optimiser l'utilisation des données LIDAR implique aussi des changements et des améliorations sur les autres maillons de la chaîne d'approvisionnement (systèmes de traitement des données, logistique, spécification de la demande de bois...).
- Une solution possible pour surmonter la question des coûts d'acquisition des données LIDAR élevés pourrait être de mutualiser les moyens avec plusieurs acteurs (y compris, en dehors du secteur forestier), dont les besoins sont comparables.
- La question de l'acceptabilité sociale d'une nouvelle technologie et de nouvelles pratiques par les acteurs (notamment le personnel réalisant les inventaires et/ou les opérations de récolte) doit être prise en compte très tôt dans le projet de façon à faciliter sa mise en œuvre.

Enfin, s'il n'est pas possible de généraliser ces résultats, du fait des spécificités de chaque situation, une liste de critères peut être proposée pour évaluer la pertinence ou non de la mise en œuvre du LIDAR dans un projet d'amélioration de la chaîne d'approvisionnement (Figure 2).

Pour aller plus loin

- Vuillermoz, M. ; Arraiolos, A. (2013), Meilleure prise en compte de la qualité des bois dans la planification de l'exploitation forestière – FLEXWOOD : résultats et perspectives, FCBA INFO.
- Levet, A.L. *et al.* (2012), Evaluation of FlexWood concept, Report for the European Commission, FP7 (<http://www.flexwood-eu.org>).
- <http://www.flexwood-eu.org> (consultation des livrables publics).

Contact :
Anne-Laure LEVET
 Tél. 01 40 19 48 73
anne-laure.levet@fcba.fr

FCBA – Pôle Economie Energie Prospective
 10 avenue de St Mandé – 75012 Paris

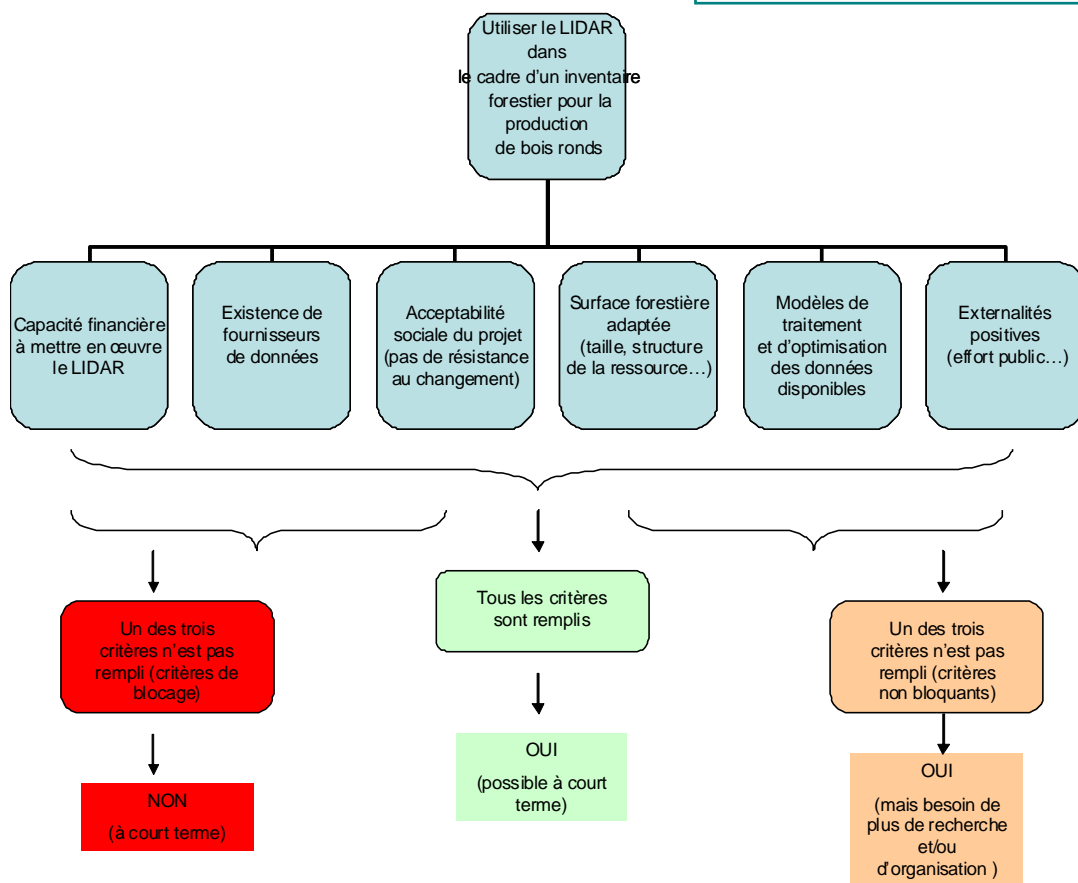



Figure 2 : Critères de décision pour la mise en œuvre du LIDAR